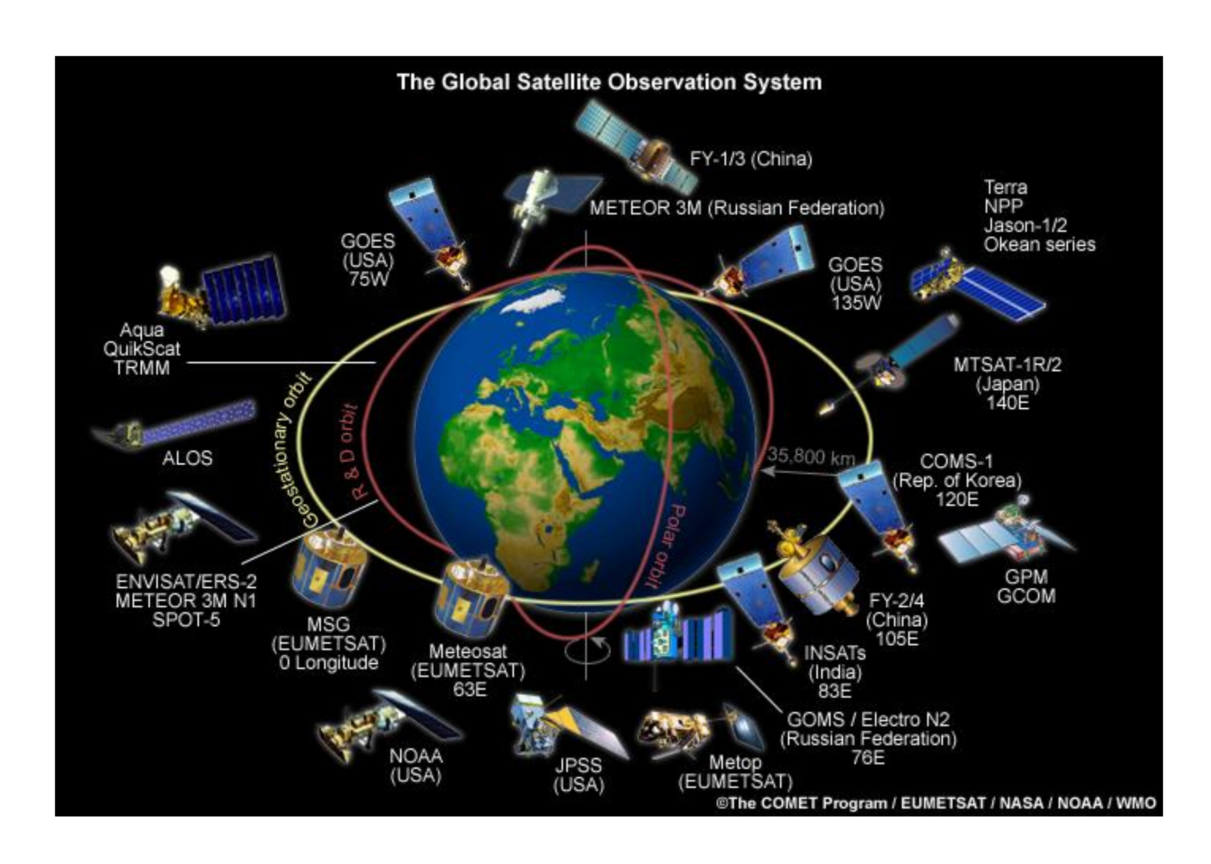


أسس الاستشعار عن بعد

إعداد

Canada Center for Remote Sensing



ترجمة وتحرير : عاطف معتمد

القاهرة في 2008





فهرس المحتويات:



تمهيد:

يقصد بالأقمار أي جسم يوضع في مدار حول الأرض،أو غيرها من الكواكب أو حول الشمس. ومنذ إطلاق أول قمر صناعي في عام 957 ، أطلق آلاف الأقمار في مدارات حول الأرض. واليوم تلعب الأقمار الصناعية دورا فاعلا في صناعة الاتصالات، في الاستخبارات العسكرية والدراسات العلمية لكل من الأرض والفضاء.

أنواع الأقمار

طور المهندسون أنواعا مختلفة من الأقمار، كل منها صمم لتحقيق هدف أو مهمة بعينها. فعلى سبيل المثال تستخدم صناعات الاتصال الهاتفية Tele Comunications والإذاعية Broadcasting لتحمل إشارات الإذاعة والتلفاز والهاتف لمسافات طويلة دون الحاجة إلى كابلات الميكروويف Microwave Relays. وتحدد أقمار الملاحة المواقع الأرضية بدقة، بينما تساعد أقمار الطقس الباحثين في الأرصاد الجوية في عمليات التنبؤ. وتستخدم بعض الدول الكبرى أقمار المراقبة Surveillance Satellite لرصد الأنشطة العسكرية في الدول المنافسة. كما تخدم الأقمار العلمية كمنصات فضائية لمراقبة الأرض وغيرها من الكواكب والشمس والمجرات وتفيد في عدد كبير من التطبيقات.

1-أقمار الاتصالات

كانت وكالة الفضاء الأمريكية ناسا قد أطلقت أول قمر للهواتف والبث التلفزيوني عام 1962 عرف باسم Tele Star -1، ثم أطلقت وزارة الدفاع قمر سينكوم 3 Syncom 3 في عام 1964 وقد كان هذا القمر أول قمر اتصالات يستخدم المدارات الثابتة حول الأرض Geostationary(وهو المدار الذي يبقى القمر فيه فوق نفس البقعة فوق خط الاستواء). وهناك اكثر من 300 قمر اتصالات أطلقت منذ عام 1957. واليوم تنقل الأقمار الثابتة المدار الاتصالات الهاتفية والبيانات الرقمية والبث التلفزيوني والإذاعي المباشر حول العالم.

2- الأقمار الملاحية Navigation Satellite

يمكن للأقمار الملاحية أن تساعد في تحديد مواضع السفن والطائرات بل والسيارات المجهزة لاستقبال إشارات الراديو. وتحتوى هذه الإشارات على بيانات يمكن لجهاز استقبال راديو على الأرض أن يحولها إلى معلومات عن موقع القمر. ثم فيما بعد يحلل جهاز استقبال الإشارة ليحدد سرعة واتجاه تحرك القمر وطول الفترة التي اتخذتها الإشارة لتصل إلى جهاز الاستقبال. ومن هذه البيانات يمكن لجهاز الاستقبال حساب موقعة هو. وبعض أنظمة الأقمار الملاحية يستخدم إشارات من عدة أقمار في نفس الوقت كي تقدم معلومات أكثر دقة عن الموقع.

وقد أطلقت البحرية الأمريكية أول قمر ملاحي ويعرف باسم ترانزيت Transit-1B وذلك في عام 1960. وقد أنهت الولايات المتحدة دعمها لأنظمة ترانزيت فى عام 1996. وتقوم القوات الجوية الأمريكية بتشغيل نظام يسمى نافستار Nafstar لتحديد الإحداثيات العالمية Global Positioning System (GPS) ويتكون من 24 قمر. وبناء على نوع جهاز الاستقبال والطريقة المستخدمة فان جهاز الجي بي إس GPS يمكن أن يقدم معلومات عن المواقع بدقة تتراوح بين 100متر إلى اقل من 1سم. وفى المقابل فان نظام الملاحة العالمية الروسي المعروف باسم جلوناس Global Orbiting Navigation Satellite System (GLONASS) والمؤلف من 24قمر يقدم دقة شبيهة بما يقدمه نظام الجي بي إس. وفى ديسمبر من عام 2005 أطلق الاتحاد الأوربي أول قمر من بين 30 قمر ستكوّن أنظمة الإحداثيات الملاحية المدنية وتعرف باسم جاليليو Galileo. وسيكون للنظام دقة مقدارها 1متر، وستصبح عاملة في عام 2009. ويطور الاتحاد الأوربي نظام جنيس Global Navigation Satellite system (GNSS) بحيث يصبح منافس لكلا النظامين الأمريكي والروسي، وسيسمح لأجهزة الاستقبال حول العالم بالاتصال مع الأقمار في أي من هذه الأنظمة الثلاثية. وتتفاوض الولايات المتحدة أيضا مع الاتحاد الأوربي بحيث تسمح لها بمعالجة الإشارات المستخدمة في ميادين المعارك أو الأهداف العسكرية دون أن يوقف النظام بأسر. وسيتنافس النظامان من الناحية الاقتصادية.

3-أقمار الطقس Weather Satellite

تحمل أقمار الطقس كاميرات وأدوات مثبتة نحو الغلاف الجوى للأرض. ويمكن أن تقدم تحذيرات مبكرة عن الظروف المتطرفة من الطقس وتسهم في ذات الوقت في تحسين عمليات التنبؤ بالطقس. وقد أطلقت ناسا أول قمر للطقس وقمر رصد تليفزيوني للأشعة تحت الحمراء Television Infrared Observation Satellite وهو قمر تيروس 1 TIROS-1 في عام 1960. وينقل تيروس1 نحو 23.000 صورة عن الأرض والغلاف الجوى. وتشغل ناسا قمرا جويس GOES ضمن مدارات ثابتة Geostationary. ويقدم جويس معلومات عن التنبؤ بالطقس بما فيه مسارات العواصف. وقد تم دعم جويس بقمر ميتوسات Meteosat وهو قمر أوربى للطقس ذو مدار ثابت أيضا. وتشغل نووا NOAA ثلاث أقمار تجمع بيانات للتنبؤ طويل المدى. وهذه الأقمار ليست في مدارات ثابتة، بل إن مداراتها تأخذها عبر القطبين على ارتفاعات منخفضة.

4-الأقمار العسكرية Military Satellite

تشبه عديد من الأقمار العسكرية نظيرتها التجارية، وان كانت الأقمار العسكرية ترسل بيانات مشفرة يمكن فقط لأجهزة الاستقبال الخاصة أن تفك شفرتها. وتلتقط أقمار المراقبة

العسكرية صورا كتلك التي تلقطها بقية الأقمار، وعادة ما تكون كاميرات الأقمار العسكرية ذات درجة وضوح عالية مقارنة بالأقمار التجارية.

وتستخدم الولايات المتحدة خمس أقمار صناعية عسكرية يقوم عليها نظام الاتصالات الدفاعية (DSCS) the Defence Satellite Communication System وتعمل هذه الأقمار ضمن المدارات الثابتة Geostationary التي تنقل البيانات الصوتية والرقمية وإشارات التلفزيون بين المواقع العسكرية. وكانت أحدث تطبيقات هذه الأقمار رصد حركة الصواريخ العراقية في حربي الخليج.

وتقدم بعض الأقمار العسكرية بيانات قابلة للتداول على مستوى الاستخدامات المدنية. فعلى سبيل المثال يعرض برنامج الرصد الجوى الدفاعي Defence Meteorological Satellite Program (DMSP) معلومات عامه عن الأحوال الجوية للأرض. وبالمثل تقدم الأقمار العسكرية خدمات مدنية مثل أنظمة تحديد المواقع العالمية GPS

5- أقمار البحث العلمي Scientific Satellite (أقمار الفلك والكون)

يمكن للأقمار الصناعية أن تقدم بيانات لرسم خرائط عن الأرض وعن حجمها وشكلها ودراسة ديناميكية المحيطات والغلاف الجوى. وتستخدم أقمار البحث العلمي في مراقبة الشمس والقمر وغيرها من الكواكب وما يتبعها من أقمار فضلا عن دراسة النجوم والمجرات. ويعتبر تيلسكوب هابل الفضائى Hubble Space Telescope مرصد لجمع مثل هذا النوع من المعلومات وقد أطلق في عام 1990 وهناك بعض أقمار هذا النوع تدور في مدارات خارج الأرض، فالقمر المعروف باسم الماسح الكونى للمريخ The Mars Global Surveyor يدور فى مدار حول المريخ.

الفصل الأول :

ما المقصود بالاستشعار عن بعد؟

الاستشعار عن بعد "علم (ولدرجة ما فن) جمع معلومات عن سطح الأرض دون أن يكون هناك اتصال مباشر مع هذا السطح. ويتم ذلك عبر استشعار وتسجيل الطاقة المنبعثة أو المنعكسة، وما يلي ذلك من معالجة وتحليل وتطبيق تلك المعلومات".

وتتضمن المعالجة فى أغلب عمليات الاستشعار عن بعد تفاعلا بين الإشعاع الساقط *Incident* والأهداف المراد دراستها. ويمكن تبسيط ذلك من خلال استخدام أنظمة تصوير فضائي مؤلفة من العناصر السبعة الآتي ذكرها. وعليك أن تلاحظ أن الاستشعار عن بعد يتضمن أيضا استشعار الطاقة المنبعثة واستخدام مستشعرات *Sensors* تعتمد على جمع معلومات ليست بالضرورة مصورة *Non-Imaging*

العناصر السبعة للاستشعار عن بعد

1- مصدر للطاقة أو الضوء (A) Energy Source or Illumination

أول متطلبات الاستشعار عن بعد وجود مصدر يُرسل ضوءا أو طاقة كهرومغناطيسية *Electromagnetic* على الهدف المراد دراسته.

2- الإشعاع والغلاف الجوى (B)

مع رحلة الطاقة من مصدرها إلى الهدف يحدث اتصال وتفاعل مع الغلاف الجوى الذي تمر الطاقة خلاله. وقد يحدث هذا التفاعل مرة ثانية مع عودة الطاقة من الهدف إلى المستشعر 0

3- تفاعل مع الهدف (C)

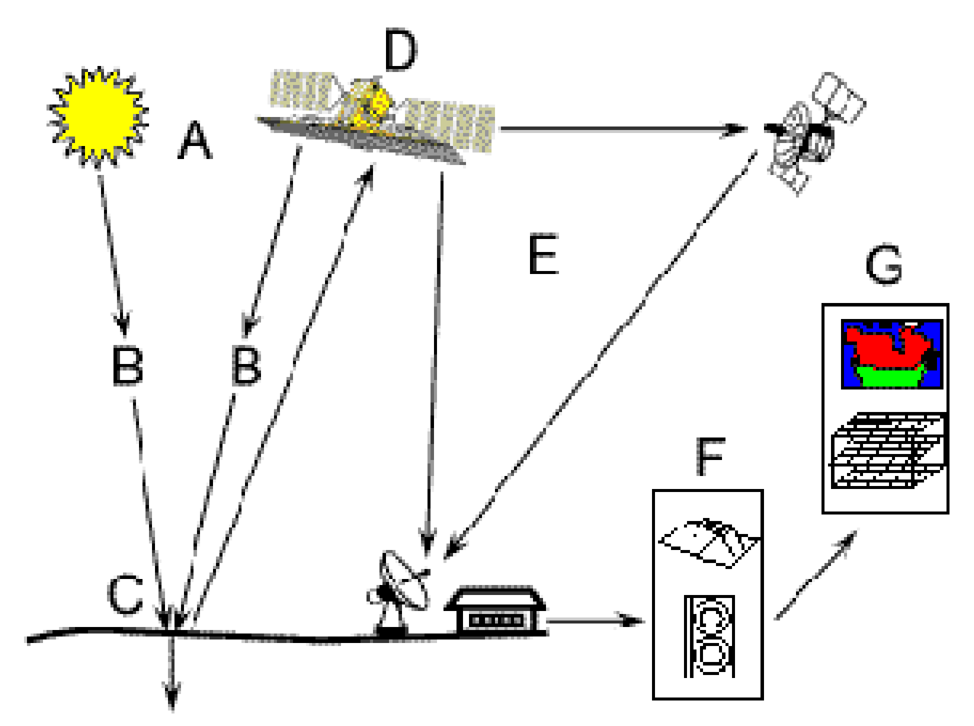
بمجرد أن تقطع الطاقة طريقها إلى الهدف عبر الغلاف الجوى تتفاعل معه بناء على خصائص الإشعاع وسمات الهدف.

4- تسجيل الطاقة من خلال المستشعر

بعد أن تتشتت الطاقة بسبب تصادمها مع الهدف (أو بعد أن تنبعث منه بعد مرحلة الامتصاص) نحتاج إلى مستشعر من بعد (ليس على اتصال مع الهدف) لجمع وتسجيل الإشعاع الكهرومغناطيسى.

5- الاستقبال والمعالجة (E)

ترسل الطاقة التي سجلها المستشعر ، والتي غالبا ما تكون فى شكل كهرومغناطيسي – إلى محطة استقبال ومعالجة تتحول منها البيانات إلي شكل مرئية (فى نسخه ورقيه أو رقمية على



الكومبيوتر)

6- التفسير والتحليل(F)

يتم تفسير المرئية المنتجة، بصريا *Visual* أو رقميا *Digital* أو إليكترونيا *Electronic* وذلك لاستخراج معلومات عن الهدف الذي تم استشعاره.

7- التطبيق (G)

يتحقق العنصر الأخير حين نطبق المعلومات التي استطعنا استخراجها من المرئية عن الهدف كي تفهم بصورة أفضل وكي نكشف عن المعلومات الجديدة أو نساعد في حل مشكلة معينة.

هذه هي العناصر السبعة لعملية الاستشعار عن بعد من البداية للنهاية وعلينا الآن أن نعرض لعناصرها بالتفصيل.

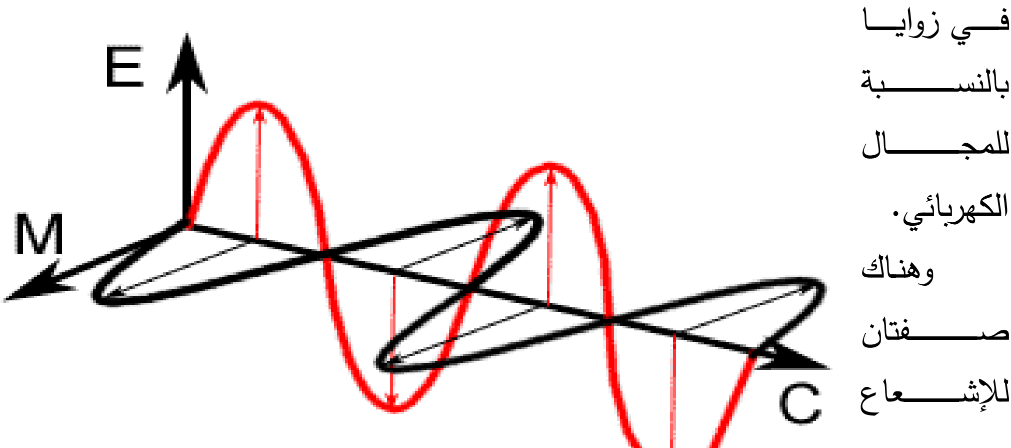
الإشعاع الكهرومغناطيسى

إن أول متطلب للاستشعار عن بعد هو توفر مصدر للطاقة ليشع على الهدف (في حالة أن يكون الهدف غير مشع من تلقاء نفسه) وتكون هذه الطاقة فى شكل إشعاع كهرومغناطيسي.

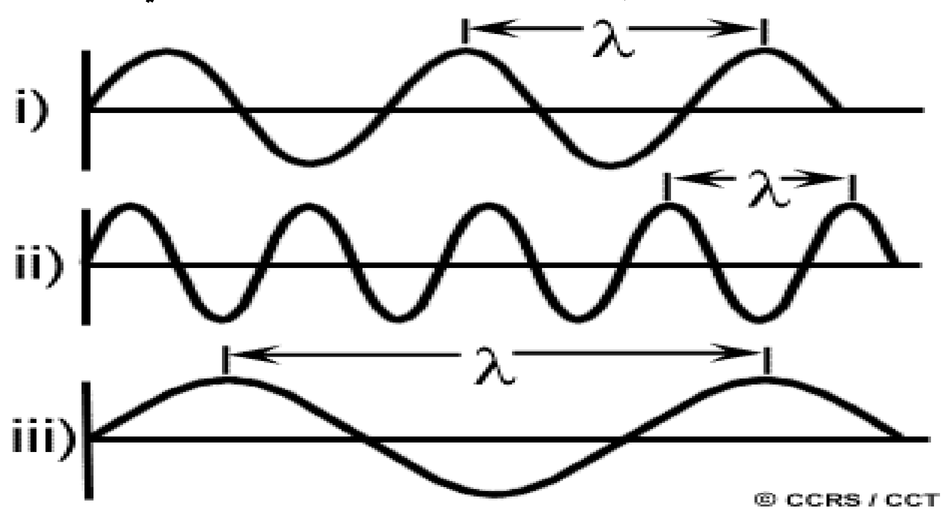


ولكافة الأشعة الكهرومغناطيسية قوانين ثابتة ومتوقعة بناء على تاريخ الموجات الكهرومغناطيسية، ذلك التاريخ الذي درس من قبل.

ويتكون الإشعاع الكهرومغناطيسي من مجال كهربائى (E) مختلف الحجم ويسير في اتجاه عمودي على الاتجاه الذي يسير فيه الإشعاع، كما يتكون أيضا من مجال مغناطيسى (M) يتجه في زوايا قائمة بالنسبة للمجال الكهربائي. وهناك صفتان للإشعاع



الكهرومغناطيسى لهما أهمية بالغة فى فهم الاستشعار عن بعد. وهما الطول الموجي والتردد.



يقصد بالطول الموجي *Wavelength* طول دورة موجية، ويمكن قياسها من خلال حساب المسافة بين قمتين موجتين متتابعتين. ويعبر عن الطول الموجي عادة بالحرف اللاتيني (لامبدا (λ) *Lambda*. ويقاس الطول الموجى بالمتر (m) أو بعض عناصره أو أجزاء المتر مثل النانومتر أو الميكروميتر.

Nanometres (nm, 10^{-9} metres)
Micrometres (μm, 10^{-6} metres)
Centimetres (cm, 10^{-2} metres).

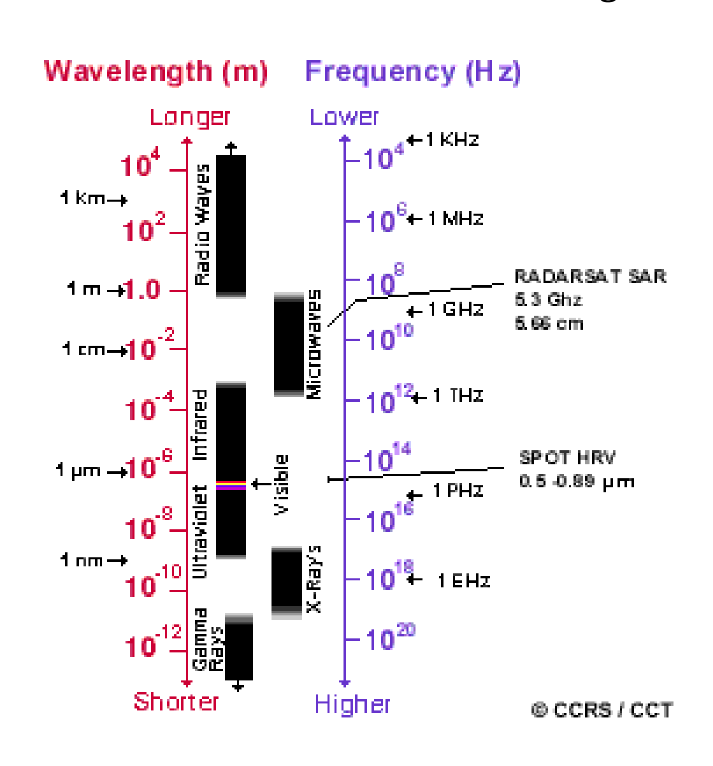


أما التردد فيشير إلى عدد دورات الموجة (عدد القمم) المارة فى الثانية، ومضاعفات هذا العدد قياسا بوحدة الهرتز Hertz.

ويرتبط الطول الموجي والتردد ببعضهما ارتباطا عكسيا. فكلما كان الطول الموجي قصيرا كلما كان التردد كبيرا، كلما كان الطول الموجي طويلا كان التردد قصيرا0 ويعتبر فهم خصائص الإشعاع الكهرومغناطيسى بمصطلحات الطول الموجي والتردد أمرا بالغ الأهمية لفهم المعلومات التي سيتم استخلاصها من بيانات الاستشعار عن بعد.

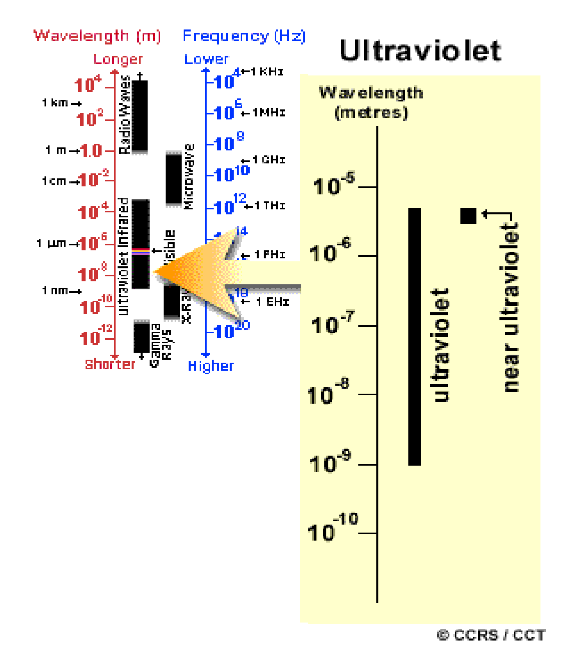
وفيما يلي سنشرح الطريقة التى يتم من خلالها تصنيف الإشعاع الكهرومغناطيسى0

الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum



يتراوح الطيف الكهرومغناطيسي ما بين موجات قصيرة (بما فيها أشعة جاما وإكس) وموجات طويلة (بما فيها موجات الميكروويف), وهناك نطاقات عديدة للطيف الكهرومغناطيسي مفيدة للاستشعار عن بعد. ولمعظم الأغراض تعتبر الأشعة فوق البنفسجية Ultra Violet (UV) الطيف الكهرومغناطيسي أقصر الموجات المستخدمة في الاستشعار عن بعد0

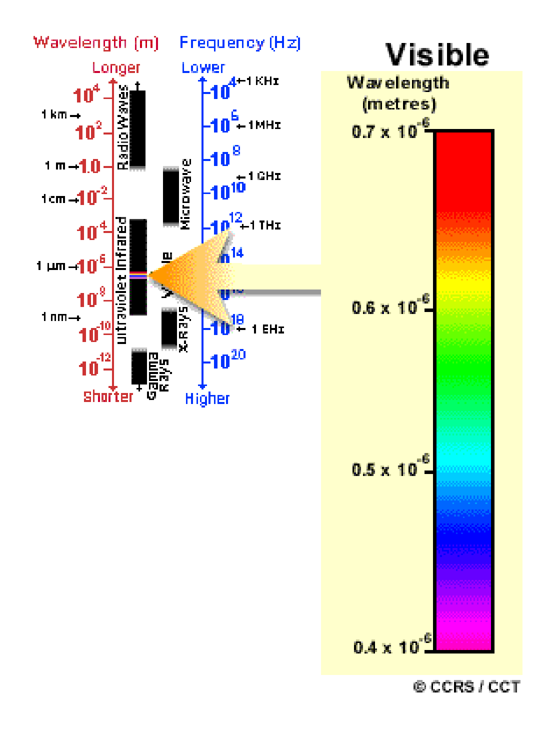
ويقع هذا الإشعاع (فوق البنفسجي) فيما وراء الجزء البنفسجي من الموجات المرئية. ومن هنا تأتى تسميته.



وهناك بعض مواد سطح الأرض، مثل أنواع الصخور والمعادن ، التي تشع أو تبعث ضوءا مرئيا حين يسقط عليها الإشعاع فوق البنفسجى0 ويعتبر الضوء الذي تراه أعيننا (مستشعراتنا عن بعد) جزءا من الطيف المرئى Spectrum Visible . ومن المهم إدراك صغر الجزء المرئى مقارنه ببقية الطيف.



فهناك إشعاع كبير من حولنا ولكنه إشعاع "غير مرئي" لأعيننا ، وإن كان في حقيقته إشعاعا قابلا للتسجيل من قبل وسائل استشعار بعيدة بما يحقق فائدة لنا. وتغطى الموجات المرئيه مدى يتراوح بين 0.4 إلى 0.7 ميكرومتر *um*.



وأطول موجات مرئية هي الموجات الحمراء، وأقصر موجات هي الموجات البنفسجية. وفيما يلي الأطوال الموجية الشهيرة التي ندركها كألوان بعينها ضمن الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي. ومن المهم أن نلاحظ أن هذا هو مجرد جزء من الطيف، وهو الذي نسميه بالألوان المتعارف عليها.

البنفسجي: 0.4 – 0.446 ميكرومتر 0

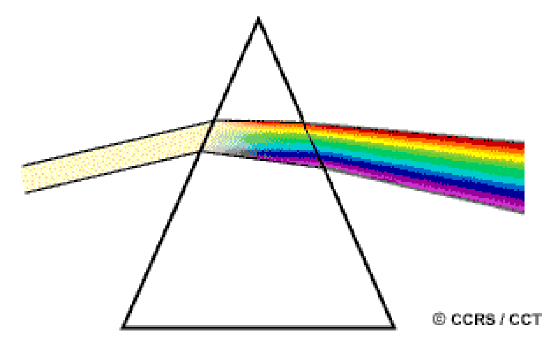
الأزرق :0.446 – 0.5 ميكرومتر 0

الأصفر: 0.57 – 0.59 ميكرومتر 0

البرتقالي: 0.59 – 0.62ميكرومتر 0

الأحمر: 0.62 – 0.7 ميكرومتر 0

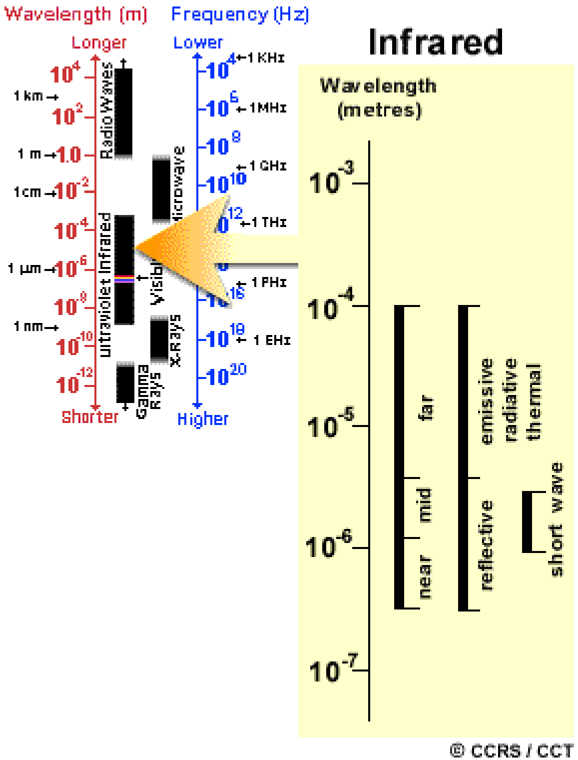
والألوان الأزرق والأخضر والأحمر هي الألوان الأساسية أو الأطول الموجية للطيف المرئي. وتعرف بهذا لأنه يمكن تكوين لون أساسي واحد من اللونين الأساسيين الباقين ، لكنه في المقابل كل الألوان الأخرى يتم تكوينها من خلال دمج الأزرق والأخضر والأحمر بنسب متفاوتة. وعلى الرغم أننا نرى ضوء الشمس كلون متجانس إلا أنه مؤلف في الحقيقة من أطوال موجية مختلفة أهمها فوق البنفسجية ،والموجات المرئية، والموجات تحت الحمراء. ويمكن ظهور الجزء المرئى من الإشعاع في ألوانه المؤلف منها إذا تم تمرير ضوء الشمس من خلال منشور زجاجي Prism والذي يؤدى إلى ثنى الضوء Bend بكميات مختلفة حسب كل طول موجي.



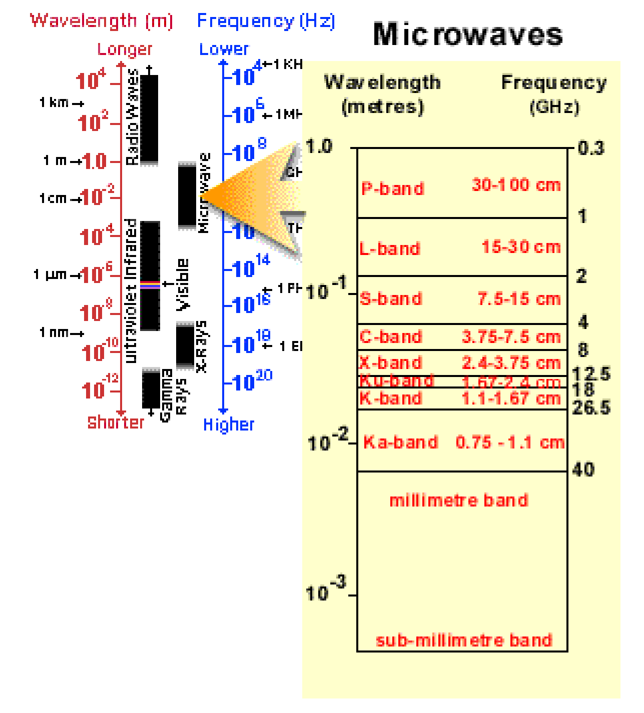
الجزء التالي من الطيف الكهرومغناطيسي والذي يستوجب الاهتمام هو النطاق الموجى للأشعة تحت الحمراء ، والتى تشمل مدى يتراوح بين 7 ر0 ميكرومتر إلى 100ميكرومتر. وهو اكبر بنحو 100مره قدر اتساع الأطياف الموجية فى النطاق المرئي . ويمكن تقسيم النطاق الموجي للأشعة تحت الحمراء إلى فئتين بناء على خصائصها الإشعاعية وهى الأشعة تحت



الحمراء المنعكسة IR Reflected والأشعة تحت الحمراء المنبعثة أو الحرارية Emitted or Thermal IR.



وتستخدم الأشعة تحت الحمراء المنعكسة RIR لأغراض الاستشعار عن بعد بطريقه مشابهة جدا للإشعاع في النطاق المرئي Visible. وتغطي الأشعة تحت الحمراء المنعكسة أطوالا موجية تتراوح بين 7ر0 إلى 0ر3 ميكرومتر. أما الأشعة تحت الحمراء الحرارية فمختلفة تماما عن الموجات المرئية وتحت الحمراء المنعكسة ، فهذه الطاقة هي الإشعاع الأساسي المنبعث من الأرض في شكل حرارة . وتغطي الأشعة تحت الحمراء الحرارية أطوالا موجية تتراوح بين0 ر3 و 100ميكرومتر.



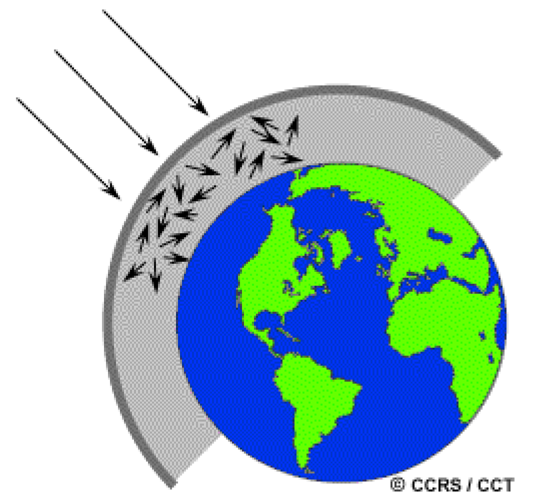
وفى الفترة الأخيرة بدأ الاهتمام بنطاق من الطيف الكهرومغناطيسي فى الاستشعار عن بعد ألا وهو نطاق أشعة الميكروويف والتي يتراوح طولها الموجي بين 1ملم 1 mm إلى 1متر أطول الموجات المستخدمة فى الاستشعار عن بعد. وللموجات الطويلة سمات مشابهة للنطاق الموجي فى الأشعة تحت الحمراء الحرارية ، بينما تقترب الموجات الطويلة من الموجات المستخدمة في البث الإذاعي. ونظرا للطبيعة الخاصة لهذا النطاق الموجي وأهميته فى الاستشعار عن بعد فى كندا فإننا سنعطى فصلا كاملا (الفصل الثالث) للاستشعار عن بعد في نطاق الميكروويف.



التفاعل مع الغلاف الجوى

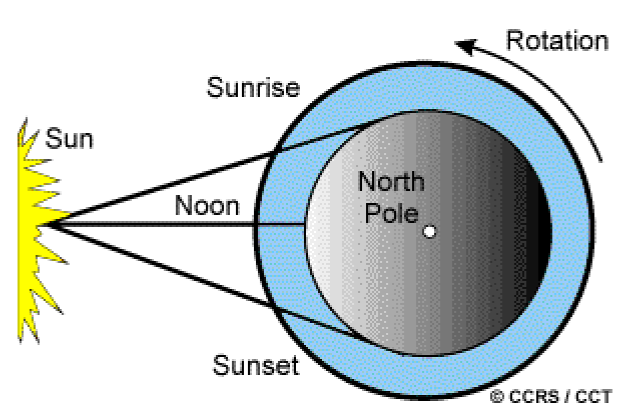
قبل أن يصل الإشعاع المستخدم فى الاستشعار عن بعد إلى سطح الأرض يسافر عبر مسافة طويلة فى الغلاف الجوى المحيط بالأرض. وتؤثر الجزيئات والغازات فى الغلاف الجوى علـى الضـوء والإشـعاع الواصـل إلـى الارض. ويحـدث هـذا التـاثير نتيجـة آليتـي التشـتت والامتصاص Scattering & Absorption.

التشتت Scattering



يحـدث التشـتت حـين تتفاعـل الجزيئـات الصـلبة أو الجزيئـات الغازيـة كبيـرة الحجـم مـع الإشعاع الكهرومغناطيسي وتؤدى إلى إعادة توجيه ذلك الإشـعاع عن مسـاره الأصـلي. ويعتمد مقدار التشـتت علـى عوامل عـدة أهمها الطـول المـوجي للإشـعاع ، ومـدى وجـود الجزيئـات أو الغـازات ، والمسافة التى يقطعها الإشعاع فى الغلاف الجوى. وهناك ثلاث أشكال من التشتت:

<u>تشتتت الموجات القصيرة Raleigh</u>



ويحـدث حـين تكـون الجزيئـات صـغيرة للغايـة مقارنـة بـالطول المـوجى للإشـعاع. وقـد تكون هذه الجزيئات ذرات غبارية أو ذرات غازية مــن النيتــروجين أو الأكسـجين. وتـؤدى هــذه الجزيئات بالموجات الصغيرة إلى التشتت بدرجة اكبـر مـن تشـتت الموجـات الطويلـة. وهذا النـوع من التشتت هو الأكثر شيوعا والآلية السائدة فى الجزء العلوى من الغلاف الجوى . والسماء"الزرقاء " التى نرها فى النهار تعود فى اصلها إلـى ذلك النوع من التشتت. فمع عبور ضوء الشمس للغلاف الجوى فان الموجات القصيرة (الزرقاء هنا) من الطيف الموجى المرئى تتشتت بدرجة اكبر من تشتت الأطوال الموجية (الأطول). وعند أوقات شروق الشمس وغروبها يضطر الضـوء إلـى السفر لمسـافات أطـول فـى الغـلاف

الجوى مقارنة بسفرة فى منتصف اليوم ويكون تشتت الموجات القصيرة اكثر اكتمالا وهذا يؤدى إلى ترك نسبه اكبر من الموجات الطويلة تخترق الغلاف الجوي.

تشتت الموجات الطويلة Mie

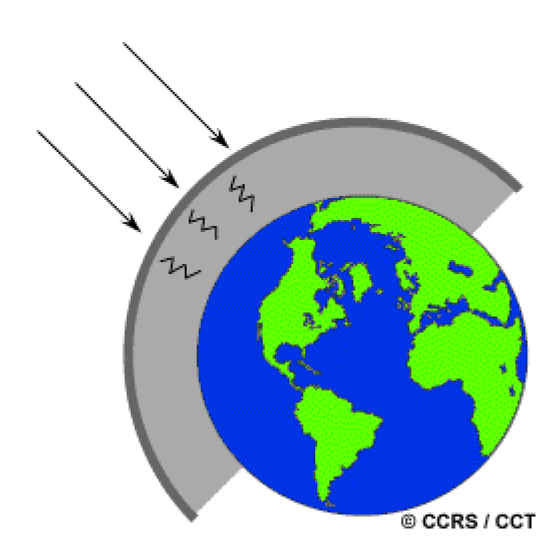
ويحدث حين تكون الجزيئات بنفس حجم طول الموجات الإشعاعية. فالغبار ، وحبوب اللقاح والدخان ، وبخار الماء هى الجزيئات الأكثر تأثيرا في حالة تشتت الطويلة اكثر من تلك المتأثرة بالتشتت في الحالة السابقة. ويحدث تشتت الموجات الطويلة غالبا فى الأجزاء السفلى من الغلاف الجوى حيث الجزيئات الكبيرة الحجم أكثر وفرة، وحيث ظروف الطقس الغنى بالسحب



التشتت العشوائي Non-selective

ويحدث حين تكون الجزيئات أكبر من الطول الموجى للإشعاع. فقطرات الماء وذرات الغبار الكبيرة يمكن ان تتسبب فى هذا النوع من التشتت. وترجع التسمية من حقيقة أن كافة الأطوال الموجية تتشتت هنا بشكل متساو. ويؤدى هذا النوع من التشتت إلى ظهور الضباب والسحب البيضاء لأعيننا نظرا لان اللون الأزرق والأخضر والأحمر تتشتت كلها بكميات متساوية تقريبا (الأزرق + الأخضر + الأحمر = الأبيض)

الامتصاص Absorption



هو الآلية الثانية التى تعمل حين يتفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسى مع الغلاف الجوى. وعلى خلاف التشتت تدفع هذه الظاهرة بالجزيئات فى الغلاف الجوى لامتصاص الطاقة عند أطوال موجية مختلفة. ويتم الامتصاص عبر المركبات الجوية الثلاثة: الأوزون، وثانى أكسيد الكربون، وبخار الماء.

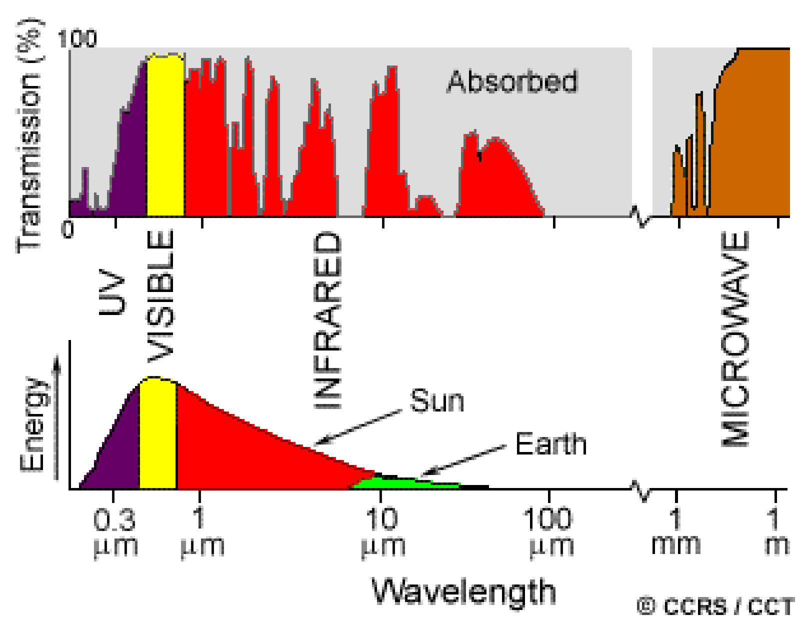
الأوزون :يعمل الأوزون على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية وهي أشعة ضارة (لأغلب الكائنات الحية). وبدون هذه الطبقة الحامية فى الغلاف الجوى فان أجسادنا ستحترق حين تتعرض للإشعاع الشمسي.

ثاني أكسيد الكربون، ربما سمعت أن ثاني أكسيد الكربون يشار إليه كغاز من غازات الصوبة. وهذا لأنه يميل لامتصاص الإشعاع بقوة في نطاق الأشعة تحت الحمراء البعيدة فى

الطيف الكهرومغناطيسى – تلك المنطقة المرتبطة بالتسخين الحرارى– والذي يعمل على حبس هذه الحرارة داخل الغلاف الجوى.

أما بخار الماء فى الجو فيمتص معظم الموجات تحت الحمراء الطويلة ، والإشعاع الميكرويفى القصير (بين 22 ميكرومتر و 1 متر). ويختلف وجود بخار الماء فى الغلاف الجوى الأدنى بشكل كبير من مكان لآخر ويختلف كذلك باختلاف أوقات السنة. وعلى سبيل المثال ، فان الكتلة الهوائية فوق الصحراء ينتظر ان يكون بها قليل من بخار الماء القادر على امتصاص الطاقة، بينما المناطق المدارية يتوقع ان يكون بها تركيز كبير من بخار الماء (رطوبة عالية).

ولان هذه الغازات تمتص الطاقة الكهرومغناطيسية فى نطاقات موجية بعينها من الطيف الكهرومغناطيسى ، فإنها تؤثر على ما يمكن أن "ننظر" إليه فى أغراض الاستشعار عن بعد . فتلك المناطق من الطيف الكهرومغناطيسى التى لم تتأثر بشدة بالامتصاص (ومن ثم فانها مفيدة فى الاستشعار) تسمى "نوافذ جوية "Atmospheric Windows .



ومن خلال مقارنة خصائص المصدرين الأساسين للطاقة\الإشعاع (الشمس والأرض) بالنوافذ الجوية المتاحة لنا ، يمكننا تعيين الأطوال الموجية التى يمكننا استخدامها بأقصى فاعلية لأغراض الاستشعار عن بعد.فالنطاق المرئى من الطيف الكهرومغناطيسى ، حيث أعيننا اكثر حساسية له ، يتوافق مع كل من النافذة الجوية ومستوى الطاقة القصوى للشمس. ولاحظ أيضا أن الطاقة الحرارية المنبعثة من الأرض تتوافق مع نافذة فى حدود 10ميكرومتر في نطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية من الطيف الكهرومغناطيسى. بينما النافذة الأكبر عند طول موجى أطول من 1ملم فترتبط بنطاق الأشعة الميكروويفيه.

وبعد أن رأينا كيف تقطع الطاقة الكهرومغناطيسية رحلتها من المصدر إلى سطح الأرض (وهى رحلة شاقة كما ترى) سننتقل الآن لشرح ما الذى يحدث لذلك الإشعاع حين يصل إلى سطح الأرض

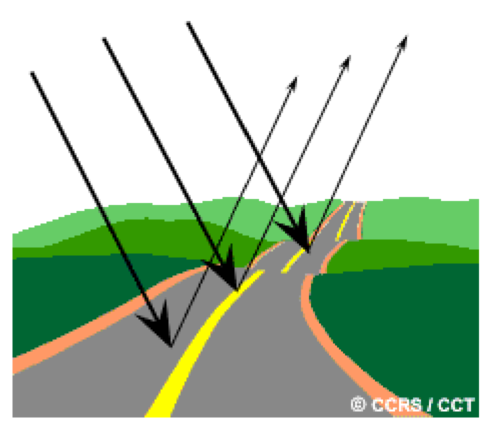
الإشعاع عند تفاعله مع الهدف



يمكن للإشعاع الذى لم يمتص أو يتشتت فى الجو أن يصل ويتفاعل مع سطح الأرض. وهناك ثلاثة أشكال لهذا التفاعل حين تصل الأشعة إلى سطح الأرض أو تصطدم بها وهى : الامتصاص (A) التوصيل (T) والانعكاس (R). وتتفاعل كل الطاقة الواصلة لسطح الأرض بطريقة أو بأخرى من هذه الطرق الثلاثة. وتعتمد نسبة كل طريقة على الطول الموجى للطاقة وعلى المواد التى يتألف منها السطح.

فالامتصاص (A) يحدث حين يتم امتصاص الإشعاع (الطاقة) فى جسم الهدف ، بينما

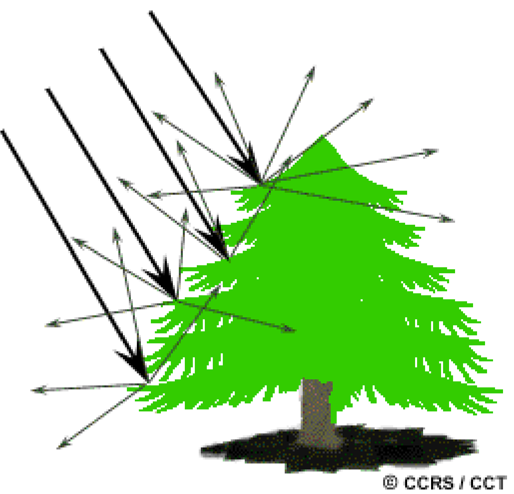




يحدث التوصيل (T) حين يمر الإشعاع عبر الهدف (يخترقه). أما الانعكاس فيحدث حين "يرتد" الإشعاع من على أطراف الهدف ويعاد توجيهه. وفى الاستشعار عن بعد فإننا نولى عناية اكبر بقياس الإشعاع المرتد من الأهداف وسنشير هنا إلى نوعين من الارتداد، (يمثلان النهايات الطرفية) في الطريقة التي ترتد من خلالها الطاقة من الهدف و هما: الارتداد المنعكس والارتداد المنتشر أو المبعثر Diffuse.

فحين يكون السطح أملس يكون الارتداد منعكسا كانعكاس الشكل فى المرآة حيث كل (أو تقريبا كل) الطاقة تتجه بعيدا عن السطح فى اتجاه أحادى، أما الارتداد المبعثر فيحدث حين يكون السطح خشنا فترتد الطاقة بشكل متجانس فى كافة الاتجاهات. واغلب مظاهر سطح الأرض تقع بدرجة أو بأخرى بين حالة الارتداد المنعكس التام وحالة الارتداد المتشتت التام. وتتوقف قدرة الهدف على رد الأشعة بشكل انعكاسي أو مبعثر أو بين المستويين على درجة خشونة السطح مقارنة بطول موجة الإشعاع القادم. فلو كانت الأطول الموجية اصغر بكثير من

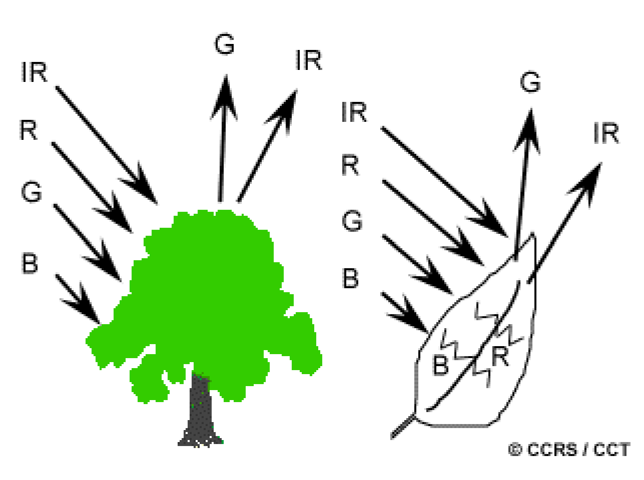
تباين السطح أو أحجام الأجزاء التى يتألف منها فان الارتداد المبعثر سيكون سائدا. فعلى سبيل المثال ، فان الرمال الناعمة الحبيبات يتوقع أن تظهر سلسلة ناعمة أمام الموجات الطويلة للميكروويف لكنها ستظهر خشنة تماما للأطوال الموجية المرئية



دعنا نلقى نظرة على مثالين من الأهداف الموجودة على سطح الأرض وكيف تتفاعل معها الطاقة عند الموجات المرئية ، وتحت الحمراء.

أوراق الشجر

يسمى المركب الكيميائى فى أوراق الشجر بالكلوروفيل وهو ذو قدرة كبيرة على امتصاص الإشعاع عند الأطوال الموجية الحمراء والزرقاء ولكنه يعكس الأطوال الموجية الخضراء . والأوراق تبدوا لنا فى الصيف " اكثر اخضرارا " حين يكون المحتوى من الكلورفيل فى أقصى درجاته. وفى الخريف يكون الكلوروفيل أقل، لذلك يكون الامتصاص أقل والارتداد أكبر نسبيا عند الأطوال الموجية الحمراء ، وهو ما يجعل الأوراق تبدو حمراء إلى خضراء (واللون الأصفر هو مزيج من الأطوال الموجية الحمراء و الخضراء).

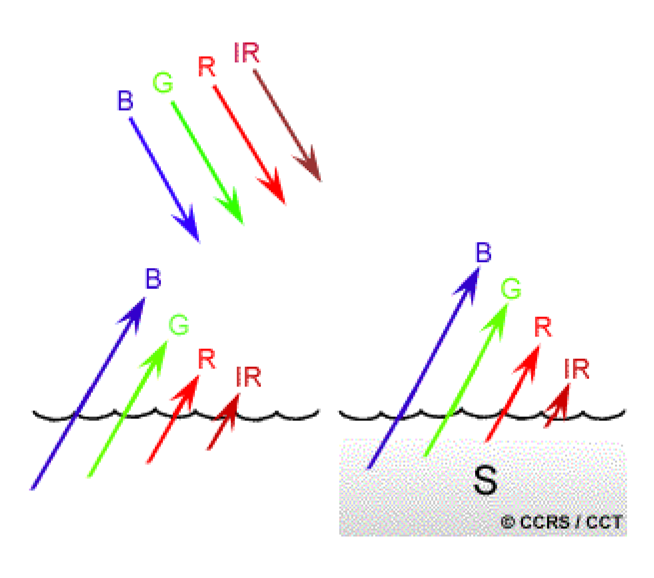


ويلعب التركيب الداخلى للأوراق المزدهرة دورا ممتازا فى الارتداد المبعثر للأطوال الموجية القريبة من الأشعة تحت الحمراء. ولو كانت أعيننا حساسة للأشعة القريبة من تحت الحمراء لكانت الأشجار تبدو لنا بالغة السطوع عند هذه الأطوال الموجية. وفى الواقع فان قياس

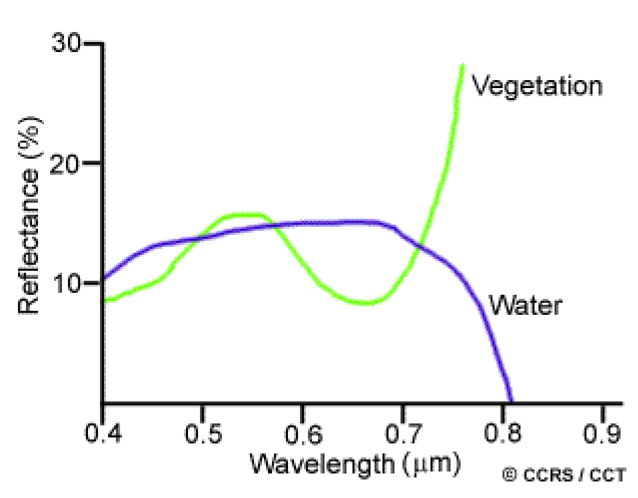


ورصد الارتداد الإشعاعى القريب من تحت الحمراء هو إحدى الطرق التى يستخدمها العلماء لتحديد درجة ازدهار (أو ذبول) النباتات

المياه



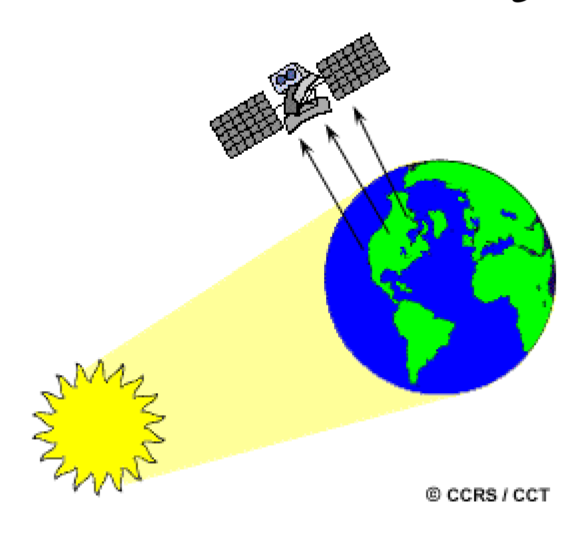
تمتص المياه الموجات الطولية المرئية والقريبة من تحت الحمراء اكثر من الأطوال الموجية القصيرة المرئية. وبالتالى فان المياه تبدو بشكل مثالى زرقاء أو خضراء – زرقاء تبعا للارتداد القوى عند هذه الموجات القصيرة ، وتبدو اكثر دكانة اذا نظرنا اليها من الاطوال الموجية الحمراء أو القريبة من تحت الحمراء. ولو كانت هناك رواسب عالقة فى الطبقة العليا من جسم المياه فان هذا سيؤدى إلى انعكاس افضل وظهور بشكل اكثر سطوعا Brighter للمياه. واللون الذى تتخذه المياه سيظهر تحولا طفيفا نحو الأطوال الموجية الطويلة. فالرواسب العالقة (S) قد يختلط تمييزها بسهولة مع المياه الضحلة (لكن خالية من الرواسب) نظرا لان هاتين الظاهرتين تبدوان متشابهتين للغاية. والكلورفيل فى الطحالب يمتص كثيرا من الاطوال الموجية الزرقاء ويعكس الخضراء ، وهو ما يجعل المياه اكثر ميولا للون الاخضر حين تكون الطحالب منتشرة فى المياه. كما أن طبوغرافية سطح الماء (خشن / أملس ، أجسام عائمة 000 الخ) يمكن أن تؤدى إلى تعقيدات إضافية فى تفسير الظاهرات المرتبطة بسطح المياه نظرا للمشكلات المتوقعة للارتداد الانعكاسي وغيرها من المؤثرات على اللون والسطوع.



بناء على درجة تعقيد الهدف المراد تصويره، وبناء على الاطوال الموجية للإشعاع فى هذه المنطقه، بوسعنا ملاحظة درجات استجابة مختلفة للغاية بالنسبة لآلية الامتصاص والاختراق والارتداد. من خلال قياس الطاقة المرتده. (أو المبعثره) من الاهداف على سطح الأرض و فى احوال مختلفه من الاطوال الموجيه, يمكننا بالتالى رسم الاستجابه الطيفيه Spectral Response للشيء. وبمقارنه أنماط الاستجابه للمظاهر

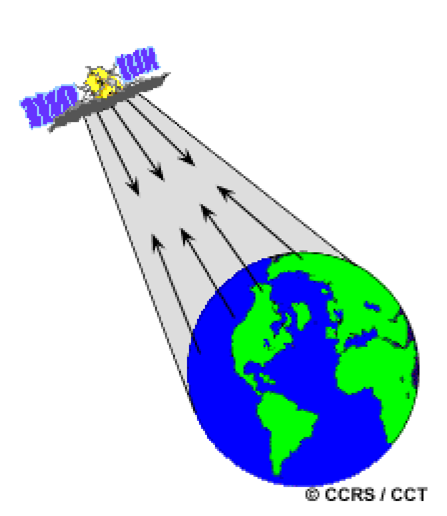
المختلفه يصبح بمقدورنا التمييز بينهما ,وهو ما لم يكن بوسعنا تحقيقه اذا اعتمدنا فقط على مقارنه هذه المظاهر عند طول موجى واحد. فعلى سبيل المثال قد تعكس المياه والنباتات قدر متشابه الإشعاع فى الاطوال الموجيه المرئيه لكنهما مختلفان تمام فى الاشعة تحت الحمراء. ويمكن ان نقيس درجة الاستجابة الطيفية ، حتى لنفس النمط من الهدف، مع تغيير عنصر الزمن (درجة اخضرار النبات) والمكان. ولعل معرفة اين "ننظر" طيفيا ونفهم العوامل المؤثرة فى الاستجابة الطيفية للظاهرة محل الاهتمام امرا بالغ الاهمية للوصول إلى تفسير صحيح للتفاعل بين الإشعاع الكهرومغناطيسى وسطح الارض.

المستشعرات الموجبة فى مقابل السالبة



على نحو ما رأينا فى هذا الفصل ، عدنا كثيرا إلـى الشمس باعتبارها مصدر الطاقة أو الإشعاع. فالشمس تعتبر مصدر مناسب جدا للطاقة (الإشعاع) الذي يحتاجه الاستشعار عن بعد . فطاقة الشمس إما أنها مرتدة (على نحو ما هي عليه في الموجات المرئية) أو ممتصة ومن ثم منبعثة (على نحو ما هي علية في الأطوال الموجية المرئية تحت الحمراء الحرارية). وتعرف أنظمة الاستشعار عن بعد التي تقيس الطاقة المتوفرة طبيعيا باسم المستشعرات السلبية Passive.

فالمستشعرات السلبية يمكن ان تستخدم فقط لتتبع الطاقة في حالة وجود مصدر طبيعي للطاقة. وبالنسبة لكافة الطاقة المرتدة ، يمكن ان يتوفر ذلك فقط في أوقات اضاءة الشمس للارض (النهار) وليس هناك طاقة مرتدة من أشعة الشمس ليلا. أما الطاقة المنبعثة طبيعيا (مثل الأشعة الحرارية تحت الحمراء) فيمكن تتبعها نهارا أو ليلا ، طالما كانت كمية الطاقة من الكبر بما يسمح بتسجيلها.



أما المستشعرات الموجبة Active فى المقابل فتقدم مصدر للطاقة من نفسها للاشعاع. فالمستشعر يبث الإشعاع ويوجهه نحو الهدف المراد دراسته. والإشعاع المرتد من الهدف يسجل ويقاس من قبل المستشعر مرة أخرى. والمستشعرات الموجبة يمكن أن تستخدم لفحص الأطوال الموجبة عير المتوفرة بشكل كافى من قبل الشمس ، مثل موجات الميكروويف ، أو لكى يتحكم فيها بشكل افضل فى طريقة انبعاث الإشعاع من الهدف. وعلى أية حال تتطلب المستشعرات الموجبة توليد قدر كبير للغاية من الطاقة المناسبة للوصول إلى الأهداف، على نحو ما هو حادث في الأقمار التي ترسل أشعة الليزر.

خصائص المرئيات

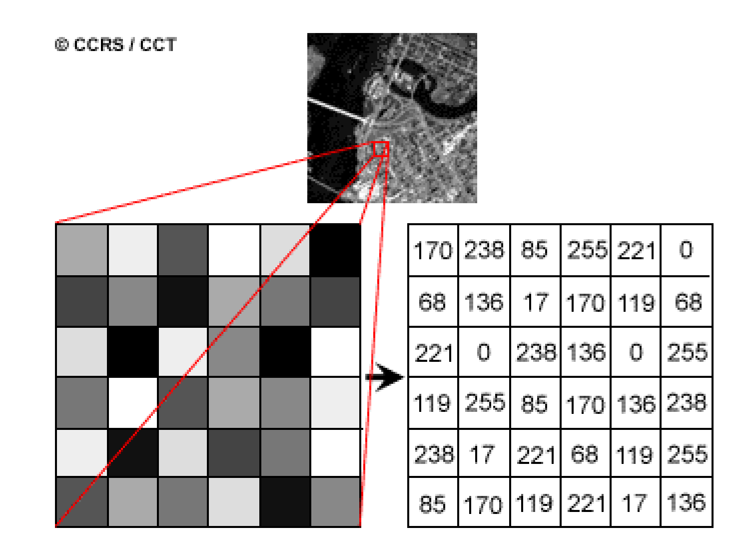
قبل الدخول فى الفصل الجديد المتعلق بتفاصيل المستشعرات ، من المفيد ان نعرف ونفهم مصطلحات ومفاهيم مهمة مرتبطة بالمرئيات الفضائية.

فالطاقة الكهرومغناطيسية يمكن ان تتبع Detected بطريقة تصويرية أو إليكترونية. فعملية التصوير تستخدم تفاعلات كيميائية على سطح الفيلم الحساس للضوء لتتبع التباينات فى الطاقة المسجلة. ومن المهم التمييز بين مصطلحى المرئيات والصور. فالمرئية Image يقصد بها أى تمثيل مصور Pictorial بغض النظر عن الأطوال الموجية وأدوات الاستشعار المستخدمة فى تتبع وتسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية. أما الصور Photographs فيقصد بها المرئيات التى يتم تتبعها وتسجيلها على أفلام فوتوغرافية. فالصورة الرمادية (الأبيض والأسود) على يسار النص هى لجزء من مدينة أوتاوا فى كندا وقد آخذت فى الجزء المرئى من الطيف الكهرومغناطيسي. وعادة ما تسجل الصور Photos فى نطاق من الطول الموجى يتراوح بين 0.3 و0.9 ميكرومتر – أى النطاق المرئى والأشعة تحت الحمراء المرتدة



وبناء على هذا التعرف يمكن القول ان كافة الصور هى مرئيات (لان الصور تبدو في شكل مصور) لكن ليست كل المرئيات صور (لأن المرئيات مبنية على أطوال موجية واجهزةاستشعار وقيم رقمية) . ومن ثم فما دمنا سنولى عناية اكبر بالمرئيات المسجلة فوتوغرافيا فسنستخدم مصطلح المرئية Image

ويمكن للصورة Photographs أن تمثل وتعرض بطريقة رقمية Digital من خلال تقسيم المرئية إلى مساحات متساوية فى الحجم والشكل تسمى عناصر الصورة Pixel أو البيكسل وتمثل درجة السطوع النسبية Brightness لكل منطقة مع قيمة رقمية Digital Numbers (DNs).



وفى الواقع فان هذا هو ما يحدث للصورة في اعلى النص. فباستخدام المصطلحات التي أوضحناها للتو فان ما نراه في الصورة هو المرئية الرقمية للصورة الأصلية والتي تم نقلها بالماسح الضوئي (سكانر Scanner) وتم تقسيمها إلى بيكسلات ، ومع كل بيكسل توجد قيمة رقمية تمثل درجة السطوع النسبية.

ويعرض الكمبيوتر كل قيمة رقمية بدرجة سطوع مختلفة. والمستشعرات التى تسجل الطاقة الكهرومغناطيسية ، تقوم بتسجيل الطاق اليكترونيا كنسق من الارقام فى صيغة ديجيتال منذ البداية.

وهاتان الطريقتان فى تمثيل وعرض بيانات الاستشعار ،سواء بشكل مصور Pictorial أو ديجيتال Digital ،يعملان بشكل تبادلي لأنهما يحتويان نفس المعلومات (رغم أن بعض التفاصيل قد تفقد خلال عملية التحويل بين الصيغتين).

فى الأقسام السابقة عرضنا للقسم المرئى من الطيف ومفاهيم الألوان. ونحن نرى الألوان لان أعيننا تقوم بتتبع كافة المجال المرئي من الأطوال الموجبة وتقوم عقولنا بمعالجة المعلومات إلى ألوان منفصلة. هل يمكنك تخيل كيف كانت الحياة ستبدو لو أننا نرى فقط المدى المحدود للغاية من الأطوال الموجبة أو الألوان المحدودة ؟وهذا هو ما يجعل لعديد من المستشعرات دور فعال. فالمعلومات في المدى المحدود للأطوال الموجية يتم جمعها وتخزينها فى قناة Channel وتعرف أحيانا باسم الباند Band ويمكننا دمج Combine وعرض القنوات المعلوماتية بشكل رقمى Digitally باستخدام الألوان الأساسية الثلاثة (الأزرق – الأخضر – الأحمر). والبيانات الموجودة فى كل قناة تمثل كأحد الألوان الرئيسية –بناء على السطوع النسبى (والمقصود هنا القيمة الرقمية) لكل بيكسل فى كل قناة –ويتم دمج الألوان الرئيسية بنسب متباينة لتمثيل البيانات المختلفة





وحين نستخدم هذه الطريقة لعرض قناة واحدة أو مدى واحد (باند) من الأطوال الموجية ، فنحن من الناحية العقلية نقوم بعرض تلك القناة وحدها من خلال الألوان الرئيسية الثلاث .ونظرا لان درجة السطوع فى كل بيكسل تكون فى هذه الحالة واحدة فان دمجها معا سيؤدى إلى ظهور مرئية رمادية تظهر كافة الظلال بشكل رمادى من الأسود إلى الأبيض. وحين نعرض اكثر من قناة فى لون مستقل ،فان مستوى السطوع غالبا ما سيكون مختلف من قناة /لون لأخرى وبالتالي ستكون المرئية فى هذه الحالة ملونة.



الفصل الثاني: الأقمار والمستشعرات

تعلمنا في الفصل الأول بعض المفاهيم الأساسية المطلوبة لفهم العملية التي تحيط بالاستشعار عن بعد . لقد غطينا بعض التفاصيل العناصر الثلاثة الرئيسية من هذه العملية : مصدر الطاقة ، التفاعل بين الطاقة والغلاف الجوى ، والتفاعل بين الطاقة وسطح الهدف. وقد عرضنا بإيجاز للعنصر الرابع : تسجيل المستشعر للطاقة حين ناقشنا المستشعرات الموجبة في مقابل السالبة وخصائص المرئيات. وفي هذا الفصل سنلقى نظرة تفصيلية على هذا العنصر من خلال فحص خصائص البلاتفورم حاملات المستشعرات Platforms والمستشعرات Sensorsوالبيانات التي نجمعها. كما سنلقى نظرة موجزة على كيف يتم معالجة هذه البيانات بعد ان يسجلها المستشعر

ولكي يقوم المستشعر بتجميع وتسجيل الطاقة المرتدة أو المنبعثة من الهدف أو السطح. لابدله من أن يستقر على عامل ثابت Stable Platforms وفي موضع بعيد عن الهدف أو السطح محل الدراسة. وقد تكون حاملات الاستشعار موضوعة بعيدا من الأرض أو على طائرة أو بلون طائر أو على قمر صناعي يدور خارج الغلاف الجوى للأرض



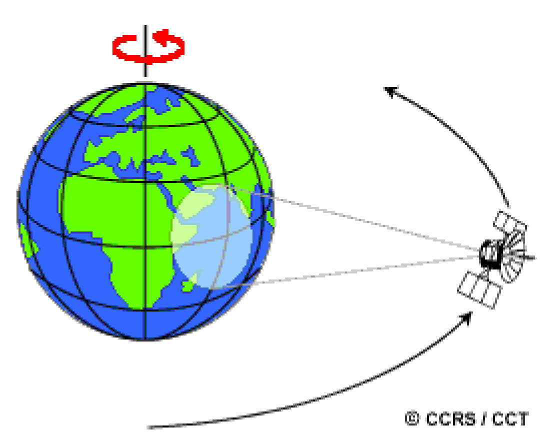
والمستشعرات المثبتة القريبة من الأرض Ground-based تستخدم عادة في تسجيل معلومات تفصيلية عن السطح المراد دراسته بهدف مقارنة البينات المجمعة هنا ببيانات تم جمعها من مستشعرات محمولة على الطائرة أو الأقمار صناعية وفي بعض الحالات يمكن أن تستخدم هذه المستشعرات لتعيين لخصائص الهدف الذي تم تصويره بمستشعرات أخرى بما يساعد على فهم أفضل



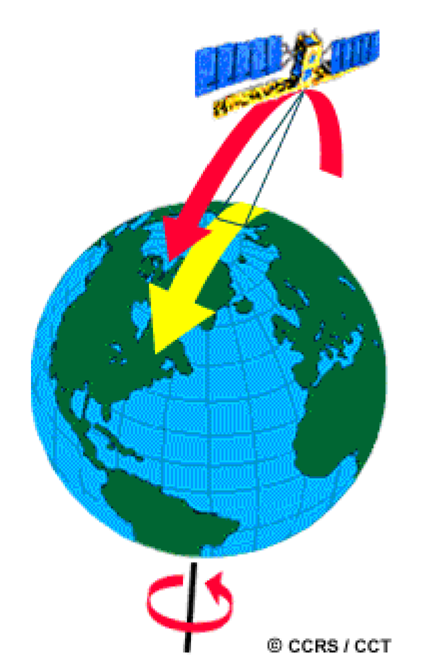
ويمكن أن يثبت المستشعر على سلم ، أو على سقالة بناء أو على بناءة عالية أو على اله رافعة تشبه الونش 0000الخ أما المستشعرات الجوية فهي مثبتة في الأساس في الطائرة المجنحة (ذات الأجنحة) ، وان كانت بعض الطائرات العمودية (الهليكوبتر)قد تستخدم وتستخدم الطائرات المجنحة بجمع مرئيات ذات تفاصيل كبيرة للغاية وتسهل من جمع بيانات لآي جزء من سطح الأرض وفي أي وقت.

وفي الفضاء : نجد أن الاستشعار عن بعد متصل أحيانا بالمركبة الفضائية ، أو في اغلب الأحيان متصلة بقمر صناعي. والأقمار الصناعية هي أجسام تدور حول جسم آخر، وفي هذه الحالة تدور حول الأرض. ويقصد بالأقمار الصناعية تلك التي اخترعها الإنسان وفي مقدمتها الأجهزة الحاملة للمستشعرات المستخدمة في الاستشعار عن بعد ،والاتصالات والملاحة وتحديد الإحداثيات. ونتيجة مداراتها حول الأرض فان الأقمار تسمح بتغطية متتابعة لسطح الأرض وتعتبر التكلفة عاملا مهما في الاختيار بين مختلف حاملات المستشعرات

خصائص الأقمار: المدارات والرقاع Orbits & Swaths



عرفنا من الجزء السابق أن أدوات الاستشعار يمكن أن تثبت على مختلف حاملات المستشعرات لرؤية وتصوير الأهداف. وعلى الرغم من أن حاملات المستشعرات المثبتة قريبا من السطح أو المحمولة على الطائرات يمكن أن تستخدم ، إلا أن الأقمار الصناعية تقدم قدرا كبيرا من تصويرات الاستشعار عن بعد المتداولة اليوم. فالأقمار لها مميزات عديدة تجعلها ذات أهمية خاصة للاستشعار مظاهر سطح الأرض عن بعد.

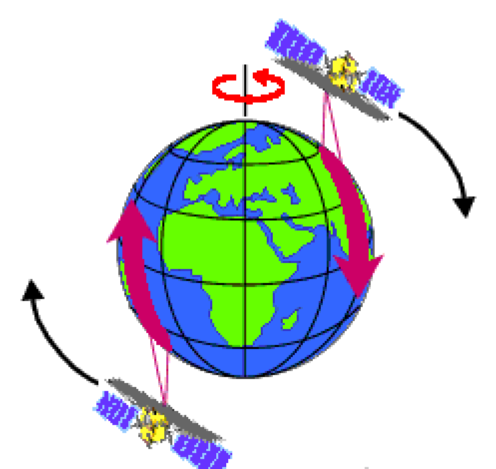


ويعرف المسار Path الذي يتبعه القمر بالمدار Orbit وتتفق مدارات الأقمار مع قدرات المستشعرات التي تحملها والأهداف التي تسعى إلى تسجيلها هذه المستشعرات. وقد يختلف اختيار المدار حسب الارتفاع عن سطح الأرض وحسب الاتجاه والدوران بالنسبة للأرض Altitude, Orientation, Rotation . فأقمار الارتفاعات العالية جدا ، والتي ترى نفس الجزء من سطح الأرض طول الوقت تعرف بأقمار المدارات الثابتة Geostationary وهذه الأقمار الثابتة –والتي تقع على ارتفاع يبلغ نحو 36.000كيلو متر – تدور حول الأرض بسرعة تعادل نفس سرعة دوران الأرض حول نفسها لذلك تبدو وكأنها أقمار ثابتة. ويسمح هذا للقمر بان يرصد ويجمع المعلومات بشكل متواصل مراقبا منطقة محدودة من سطح الأرض. وتتبع للأقمار المناخية وأقمار الاتصالات هذا النوع من المدارات. ونتيجة لوجودها على ارتفاعات شاهقة فان بعض الأقمار

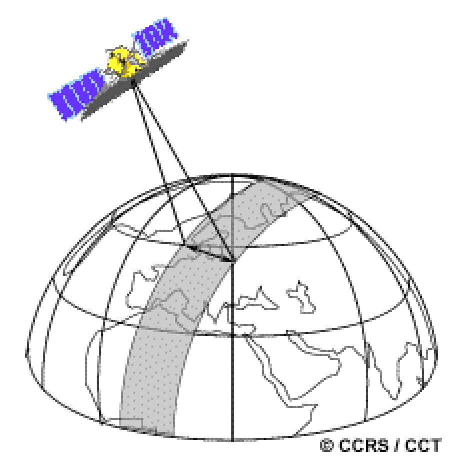


المناخية الثابتة المدار يمكن أن ترصد الطقس وأنماط السحب مغطية مساحة تعادل نحو نصف الكرة الأرضية.

وقد صممت العديد من حاملات المستشعرات بحيث تتبع مدار (غالبا ما يكون شمالي جنوبي) يسمح للقمر الصناعي من خلال دورات الأرض من الغرب للشرق بان يغطى معظم أجزاء سطح الأرض خلال فترة محدودة من الزمن. وهذه هي المدارات شبة القطبية (من القطب إلى القطب) Near-Polar Orbit وقد سميت بذلك نتيجة ميلها عن المدار المتفق مع خط يمر بين القطبيين الشمالي والجنوبي . واغلب مدارات هذه الأقمار تعرف أيضا باسم Sun-Synchronous نظرا لأنها تغطى كل منطقة من العالم عند توقيت محلى ثابت من اليوم يعرف باسم التوقيت الشمسي المحلى Local Sun Time وعند أي ارتفاع فان موضع الشمس في السماء التي يمر القمر فوقها يكون نفس الموضع في نفس الفصل من السنة. يساعد هذا في ضمان وجود إشعاع دائم خلال عملية جمع والتقاط المرئيات خلال موسم معين ولمدة عدة سنوات متتابعة ، أو فوق منطقة بعينها لعدة أيام متوالية. ولعل هذا بمثابة عامل مهم جدا لعملية رصد التغير Monitoring Change بين المرئيات أو لعمل موزايك لمرئيات متجاورة نظرا لأنها لن تحتاج لان تصحح لأوضاع إضاءة مختلفة.

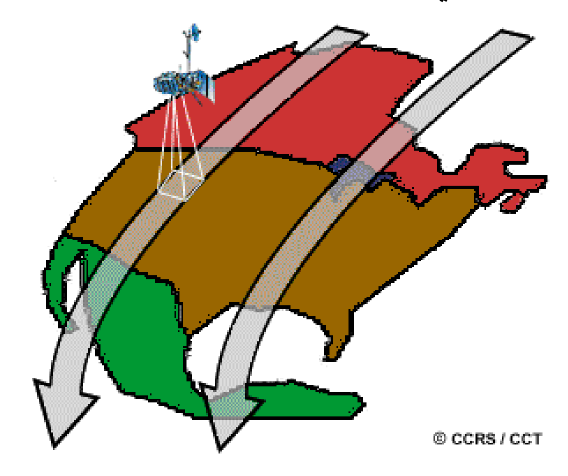


واغلب حاملات المستشعرات اليوم تسير في مدار شبة قطبي وهو ما يعنى أن القمر مسافر نحو الشمال في جانب واحد من كوكب الأرض ثم نحو القطب الجنوبي على الجانب الآخر من الكوكب خلال نصف زمن رحلته الكلية. وتعرف هذه المسارات باسم المسارات الصاعدة والهابطة Ascending and Descending Passes ولو كان المدار أيضا موازيا لحركة الشمس Sun-Synchronous فان المسار الصاعد يكون من المحتمل جدا ان يأتي على الجانب الواقع في ظل من الكوكب الأرض بينما يكون المسار الهابط على الجانب المضيء من الأرض. وبالتالي فان الأقمار تسجل الطاقة الشمسية المرتدة فقط على الجانب الهابط من المدار حيث إضاءة الشمسية المتوفرة. وبالنسبة للأقمار الموجبة Active والتي تبث إشعاعها ذاتيا نحو الأرض أو الأقمار السلبية التي تسجل الإشعاع المنبعث من الأرض (الإشعاع الحراري) فانه بوسعنا تسجيل وتصوير الأرض حتى على الجانب الصاعد من المدار الواقع في ظل الشمس.

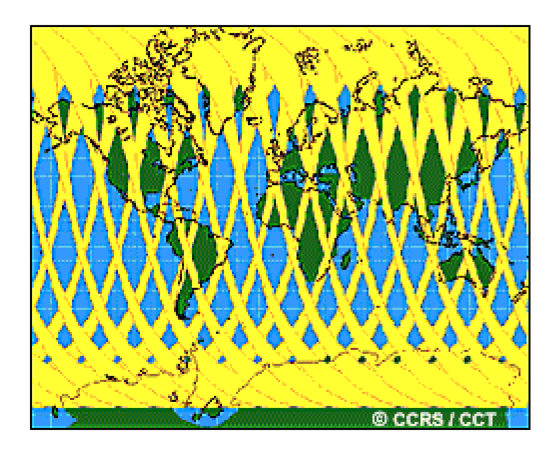


ولان القمر يدور حول الأرض ، فان المستشعر"يرى "جزاء ما من سطح الأرض. والمنطقة التي يصورها القمر تسمى بالرقعة المصورة Swaths. ويختلف اتساع هذه الرقاع بين عشرات إلى المئات الكيلو مترات. وما دام القمر يدور حول الأرض من القطب إلى القطب فان وضع هذه الرقعة ما كان ليتغير من لشرق –الغرب لو لم تكن الأرض تدور حول نفسها. ولكن الرقعة ستتغير وتنتقل نحو الغرب لان الأرض تدور من الغرب للشرق اسفل القمر. وهذه الحركة الظاهرية تسمح للرقعة التي يغطيها القمر بان تغطى مساحة جديدة مع كل مسار ت إلى (متتابع Consecutive). يعمل مدار القمر ودوران الأرض معا بما يسمح بتغطية كاملة لسطح الأرض ، بعد ان يكون القمر قد اكمل دورة كاملة في مداره.

وإذا بدأنا مع مسار Pass نختاره بشكل عشوائي من بين مسارات مدار أحد الأقمار ، دورة المدار ستكتمل حين يعود القمر إلى النقطة التي بدأ منها Retraces وهى النقطة المعروفة باسم نقطة الانطلاق Nadir Point والتي يبدأ منها دورة جديدة وسيختلف طول الوقت للدورة المدار من قمر لاخر. والفترة البينية المطلوبة للقمر لكى يكمل دورة مدارة ليست هي نفسها التي قطعها من قبل في المدار السابق. فالأقمار التي تستخدم مستشعرات قابلة للتحرك والزحزحة Steerable يمكنها أن ترى المنطقة قبل وبعد عبور المدار فوق الهدف ، وهو ما يجعل مرة " الزيارة الجديدة" اقل في زمنها من الفترة التي استغرقها القمر في دورته السابقة.



وتعتبر فترة الزيارة الجديدة للمدار على درجة كبيرة من الأهمية لعدة اعتبارات أهمها تطبيقات الرصد والمراقبة ، خاصة حين يتطلب الأمر مرئيات. متعاقبة لنفس المنطقة (لمراقبة تسرب بقع زيتيه أو امتداد فيضان). وفي

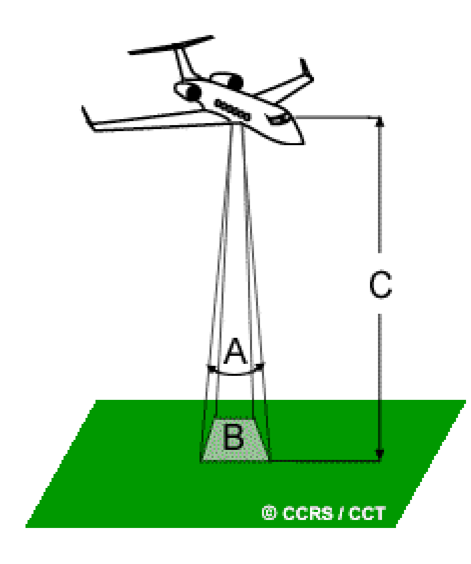


المدارات شبه القطبية orbit Near-polar فإن المناطق الواقعة في العروض العليا سيتم تصويرها بشكل متكرر أكثر من النطاق الاستوائي نظرا لزيادة مساحة التداخل في الرقع المجاورة في العروض العليا وذلك لان مسارات paths المدار تصبح متلاصقة من بعضها عند القطبين.

درجة الوضوح المكانى Spatial Resolution ، حجم البيكل ومقياس الرسم

بالنسبة لبعض أدوات الاستشعار تلعب المسافة بين الهدف المراد تصويره وجهاز التصوير دورا مهما في تحديد تفاصيل المعلومات المراد جمعها ، وتحديد حجم المساحة الكلية التي سيلتقطها المستشعر. فالمستشعرات المركبة على حاملات جوية بعيده الأهداف المراد تصويرها ستعرض لمساحة واسعة ، لكن ليس بوسعها تقديم تفاصيل كبيرة. ودعنا في ذلك نقارن بين ما يمكن أن يراه رائد فضاء وما تراه أنت من نافذة طائرة. فرائد الفضاء بوسعه رؤية بلدك بأسرها ، لكن حين تنظر من نافذة الطائرة بوسعك رؤية مدينك أو بلدتك بل رؤية المباني المفردة والسيارات ، وان كنت في المقابل لا ترى سوى مساحة صغيرة من بلدك مقارنه بما يراه رائد الفضاء.

وبالمثل هناك فروقات متشابهة بين مرئيات الأقمار الصناعية والصور الجوية. وتعتمد المعلومات التفصيلية في المرئية بالتالي على درجة الوضوح المكانى Spatial Resolution للمستشعر والتي يقصد بها حجم أصغر ظاهرة يمكن تتبعها. درجة الوضوح المكاني للمستشعرات سالبة تعتمد بدرجة أساسية على المجال اللحظي (السريع) للرؤية IFOV Instantaneous Field Of View. والمجا ل اللحظى للرؤية هو المخروط الحاد الزاوية Angular Cone الذي يرى من خلاله المستشعر (A) ويحدد المساحة من سطح الأرض التي" ترى " من ارتفاع ما في لحظة محددة من الزمن(B). ويتحدد حجم المنطقة التي سيراها المستشعر من خلال ضرب قيمة IFOV في المسافة بين المستشعر وسطح الأرض (C) . وتعرف هذه المساحة على الأرض باسم خلية الوضوح Cell Resolution وتحدد أقصى درجه وضوح مكاني للمستشعر. ولكي يتم تتبع ظاهرة متجانسة ، فيجب ان حجمها بشكل عام مسأو أو اكبر من خلية الوضوح. أما لو كانت الظاهرة اصغر من ذلك فقد لا يتمكن المستشعر من تتبعها لان المتوسط العام للسطوع لكل الظاهرات المسجلة في تلك الخلية سيطغى على وجودها 0 ومع ذلك فان الظاهرات الصغيرة قد تنجح في الظهور إذا كان انعكاسها مسيطرا داخل خلية وضوح محددة Articular بما يسمح بأنصاف البيكسلات أو خلايا الوضوح بأن تتبع ويسهل تسجيلها.



وكما أشرنا في الفصل الأول فان معظم مرئيات الاستشعار تتألف من دمج عدد كبير من عناصر الصور أو البيكسل والتي يقصد بها الوحدات الأصغر على المرئية. وتتخذ البيكسلات المرئية شكل مربعات وتمثل مساحة معينة على المرئية ومن المهم التمييز بين حجم البيكسل ودرجة الوضوح المكاني ، فهما غير مترادفين. فلو ان المستشعر كان ذا درجة وضوح مكانى مقدارها 20متر والمرئية المنتجة من هذا المستشعر عرضت في وضوحها المكتمل Full Resolution فان كل بيكسل عليها ستكون مساحته 20م X20م على الأرض . وفي هذه الحالة فان حجم البيكسل ودرجة الوضوح المكانى مترادفني. لكن من الممكن أن تعرض المرئيه بحجم بيكسل مختلف عن درجة الوضوح المكانى فعديد من البوسترات للمرئيات الفضائية.

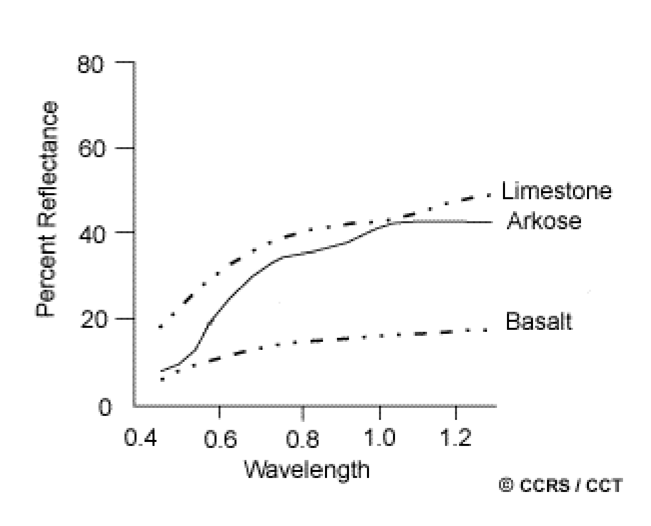
تعرض بأحجام البيكسلات مكبرة لتظهر التفاصيل بينما درجة الوضوح المكانى الأصلية للمستشعر الذي جمع البيانات تبقى دون تغيير. وهنا يكون اختلاف كبير بين حجم البيكسل المعروض في البوستر ودرجة الوضوح المكانى للمرئية.

والمرئيات التي يمكن عليها تمييز الظاهرات الكبيرة فتعرف باسم "درجة وضوح رديئه أو ضعيفة Coarse or Low Resolution". أما المرئيات التي تعرف باسم ذات درجة وضوح عالية Fine or High Resolution فهى التي يمكن عليها تمييز الظاهرات الصغيرة. والمستشعرات ذات الأغراض العسكرية على سبيل المثال صممت لتعرض اكبر قدر من التفاصيل ، ومن ثم فإنها ذات درجة وضوح عالية. وتقدم الأقمار التجارية فتوفر مرئيات بدرجات وضوح متفاوتة بين عدة أمتار وعدة كيلو مترات وبصفة عامة فإنه كلما كانت درجة الوضوح كبيرة كلما كانت المنطقة التي تغطيها المرئية اقل مساحة

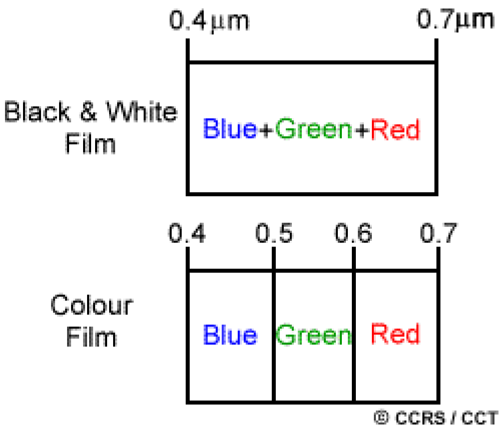
وتعرف النسبة بين المسافة على المرئية والخريطة بالنسبة للمسافة الحقيقية على الأرض باسم مقياس الرسم. فلو كانت لديك خريطة بمقياس 100.000:1فان شيئا طوله اسم على الخريطة سيكون طوله على الخريطة 100.000سم (1كم) وهناك بالتالى مرئيات صغيرة المقياس (100.000:1) مثلا وأخرى كبيرة المقياس (5.000:1مثلا).



درجة الوضوح الطيفي Spectral Resolution



تعرضنا في الفصل الأول للاستجابة الطيفية Spectral Response ومنحنى الانبعاث الطيفي الذي يميز الانعكاس و/أو الانبعاث من الظاهرة أو الهدف في مختلف الأطوال الموجية. يمكن تمييز فئات مختلفة من الظاهرات والتفاصيل على المرئية من خلال مقارنة درجة الاستجابة في نطاقات موجية بعينها. فالفئات واسعة الامتداد Broad Classes مثل المياه والنباتات يمكن بسهولة فصلها وتمييزها بالاستعانة بنطاقات مرئية واسعة –النطاقات المرئية وتحت الحمراء – على نحو ما أشرنا في الفصل الأول. أما الظاهرات والفئات الأكثر تحديدا –مثل الأنواع الصخرية –فقد لا يكون من السهل تمييزها باستخدام مثل هذه النطاقات الموجية الواسعة الامتداد وأنها تتطلب مقارنتها بنطاقات موجية اكثر تحديدا ومن ثم فقد نحتاج في هذه الحالة لمستشعر له درجة وضوح طيفي عالية. وتصف درجة الوضوح الطيفي قدرة المستشعر على تحديد فروقات طفيفة في الأطوال الموجية Fine Wavelength intervals . وكلما كانت درجة الوضوح الطيفي محدده اكثر Finer كلما كان المدى في الأطوال الموجية ضيقا في كل قناة موجية.



وتقوم الأفلام الرمادية (الأبيض والأسود) بتسجيل الأطوال الموجية الممتدة على اغلب أو كل الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسى. ودرجة وضوحها الطيفي غير دقيقة (عامة Coarse) نوعا ما، وذلك لان مختلف الأطوال الموجية للطيف المرئي غير مميزة بشكل فردى ، كما أن درجة الانعكاس في النطاق المرئى تكون مسجلة كلية (معا). كما أن الأفلام الملونة

حساسة أيضا للطاقة المنعكسة في نطاق الجزء المرئي من الطيف الإشعاعي، لكن درجة وضوحها الطيفي عالية نظرا لأنها حساسة بشكل فردى للطاقة المنعكسة للأطوال الموجية الزرقاء والخضراء والحمراء. ومن ثم فإنها قادرة على تمثيل الظاهرات ذات الألوان المختلفة بناء على درجة عكسها للأشعة في هذه الأطوال الموجية المميزة.

وتسجل عديد من أنظمة الاستشعار الطاقة في نطاقات موجية منفصلة وعند درجات وضوح طيفى متباينة. وتعرف هذه الأنظمة باسم المستشعرات متعددة الوضوح الطيفى Multi-Spectral Sensors. وهناك مستشعرات متعددة الوضوح الطيفى على درجة عالية من التقدم وتعرف باسم المستشعرات فائقة التعدد الطيفى Hyperspectral Sensors وتتبع هذه المستشعرات مئات القنوات الموجية الضيقة (التفصيلية) Narrow Spectral Bands ضمن النطاق المرئي Visible وتحت الحمراء القريبة وتحت الحمراء الوسيطة من الطيف الكهرومغناطيسى. وتسهل قدرتها العالية فى درجة الوضوح الطيفى فى التمييز بين الأهداف المختلفة بناء على درجة استجابتها الطيفية فى كل قناة موجية محددة

درجة الوضوح الراديومترى Radiometric Resolution

في الوقت الذي تعرف فيه عملية تنظيم البيكسلات في المرئية باسم التركيب المكانيSpatial Structure للمرئية فان الخصائص الراديومترية تصف محتوى المعلومات الفعلية فى هذه المرئية. ففى كل مرة تسجل فيها المرئية على الفيلم أو من قبل المستشعرات فان درجة حساسيتها للطاقة الكهرومغناطيسية هى التى تحدد درجة وضوحها الراديومترى. فدرجة الوضوح الراديومترى لنظام المرئية الفضائية يصف قدرتها على الفصل والتمييز بين الفروقات الطفيفة فى الطاقة. وكما كانت درجة الوضوح الراديومترى تفصيلية فى المستشعر كلما كانت قدرته بالغة الحساسية على تتبع الفروقات الصغيرة فى الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من الأهداف.



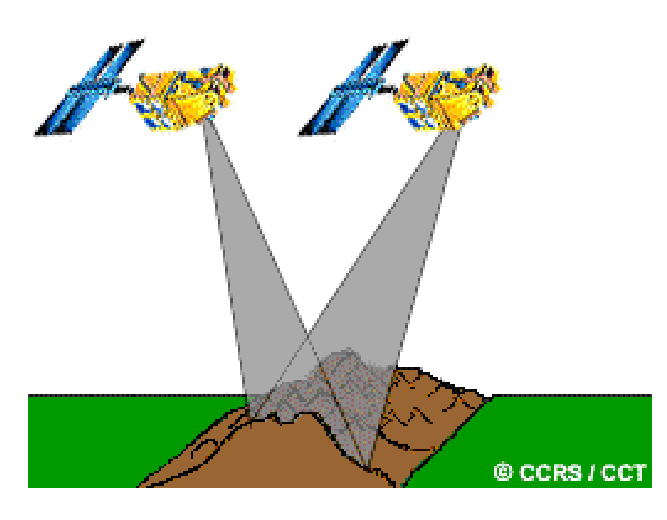


وتمثل البيانات في المرئية بواسطة قيم رقمية موجبة Positive Digital Number تتفاوت بين صفر ومضاعفات رقم 2. ويتفق مدى هذه القيم مع عدد البيت Bits المستخدم لتكويد (تشفير) الأرقام في النظام الثنائي في الكومبيوتر Binary Format فكل بيت Bit تسجل امتدادات رقم 2 (على سبيل المثال $1 \text{ bit} = 2^1 = 2$).

وأقصى رقم لمستويات السطوع تعتمد على عدد البيت Bits المستخدمة فى تمثيل الطاقة المسجلة. وبالتالي فلو أن المستشعر يستخدم 8 بت لتسجيل البيانات سيكون هناك بالتالي 2^8 أي = 256 قيمة رقمية Digital values وتمتد هذه القيم بين صفر و 255. ولو كان المستشعر يستخدم 4بت فان عدد القيم الرقمية سيصبح حينئذ 2^4 أي 16 وستتراوح القيم في هذه الحالة بين صفر و15. وعلى هذا فان الوضوح الراديومترى في المستشعر الأخير ستكون اقل من الوضوح الراديومترى في المستشعر الأول.

وعادة ما تعرض بيانات المرئية من خلال مدى من التدرجات الرمادية Grey tonesحيث الأسود الكامل يمثله الرقم صفر والأبيض الكامل يمثله أقصى قيمة لدى المستشعر (255مثلا فى نظام بيانات 8بت). ومن خلال مقارنة مرئيتين واحدة ذات نظام 8بت يمكننا أن نرى أن هناك فرقا كبيرا في مستوى التفاصيل بناء على درجة الوضوح الراديومتري.

–درجه الوضوح الزمني Temporal Resolution



بالإضافة إلى درجات الوضوح المكانية والطيفية و الراديومترية يعتبر مفهوم درجه الوضوح الزمنى مهما فى أنظمة الاستشعار. ولقد أشرنا إلى هذه الفكرة سريعا في مطلع هذا الفصل حين ناقشنا فكره زمن الزيارة الثانية للقمر, والتي يقصد بها طول الزمن الذي يتخذه القمر ليكمل دورة كاملة حول مداره. وعادة ما تكون فتره الدورة التى يتخذها القمر عده أيام. ومن ثم فان درجه الوضوح الزمنى المطلقة لنظام الاستشعار لتصوير نفس المنطقة بالضبط وبنفس الزاوية للمرة الثانية يساوى هذه الفترة (عده أيام مثلا). ونظرا لان هناك درجه من التداخل Overlap في الرقعة المصورة Swaths بين المدارات المتجاورة لأغلب الأقمار وزيادة هذا التداخل كلما كان ارتفاع التصوير عاليا، فان بعض أجزاء من كوكب الأرض سيتكرر تصويرها بشكل دوري. وبالمثل فان أنظمة الأقمار الصناعية بوسعها توجيه

Point مستشعراتها لتصوير نفس المنطقة خلال مسارات passes مختلفة تتفاوت بين يوم خمسة أيام. وبالتالي فان درجة الوضوح الزمني الفعلية للمستشعر يعتمد على عدة عوامل أهمها : قدرات القمر /المستشعر ، التداخل بين الرقع المصورة وارتفاع القمر.

وتعتبر القدرة على التقاط المرئيات لنفس المنطقة من سطح الأرض على فترات زمنية مختلفة بمثابة أحد أهم العناصر في تطبيقات الاستشعار عن بعد. فالسمات الطيفية للظاهرة قد تتغير مع الزمن، ويمكن تتبع هذه التغيرات عن طريق جمع ومقارنة مرئيات متعددة الزمن Multi Temporal Imagery. فعلى سبيل المثال وخلال فصل النمو، فان معظم الأنواع النباتية تكون في حالة مستمرة من التغيير وقدرتنا على رصد هذا التغيير المتواصل باستخدام الاستشعار يعتمد على مدى قدرتنا الزمنية والكيفية في التصوير. فمن خلال التصوير المتتابع لفترات زمنية مختلفة سنكون قادرين على رصد التغيرات التي تحدث على سطح الأرض ، سواء كانت طبيعية (كالتغير في الغطاء النباتي الطبيعي أو الفيضانات) أو التغيرات البشرية Human-Induced Changes (كالتطور العمراني أو إزالة الغابات). ويعتبر عامل الزمن على درجة بالغة الأهمية في التصوير وذلك في الحالات الآتية:

–وجود سحب دائمة تتيح رؤى واضحة محدودة الفترات (غالبا في المناطق المدارية)

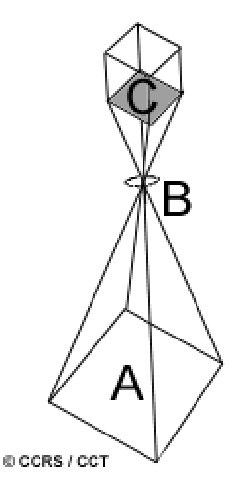
–الظاهرات قصيرة العمر (الفيضانات، انهيارات التربة 0000الخ)وتحتاج لتصويرها

–المقارنات متعددة الزمن Multi-Temporal (انتشار مرض فى نباتات الغابات من سنة لأخرى).

–المظهر المتغير لظاهرة عبر الزمن بحيث يمكن استخدام هذا المظهر لتمييزها عما يحيط بها من ظاهرات (القمح في مقابل الذرة).

الكاميرات والتصوير الجوى Cameras & Aerial Photographs

تعتبر الكاميرات وأساليب استخدامها في التصوير الجوى واحدة من أبسط واقدم أدوات الاستشعار عن بعد لسطح الأرض. والكاميرات أنظمة تنتج صورا ذات أطر (جمع إطار) Framing Systems تتطلب التقاط صور ثابتة Snapshot لهدف قريب (A).وأنظمة الكاميرات عبارة عن مستشعرات بصرية موجبة تستخدم عدسات (B) أو نظام من العدسات يشار إليها معا باسم البصريات Optics) لتشكيل صورة عند الزاوية البؤرية Focal Plane (C) وهى الزاوية التى تحدد بالدرجة الأولى شكل الصورة.



والأفلام الفوتوغرافية حساسة للضوء بأطوال موجية تتراوح بين 0.3 و0.9ميكرومتر بحيث تغطى النطاقات الموجية فوق البنفسجية -Ultra

(UV) Violet. والمرئية وتحت الحمراء القريبة (NIR) Near Infra-Red. وهناك الأفلام البانكروماتيك Panchromatic الحساسة للأشعة فوق البنفسجية وللأشعة المرئية من الطيف الإشعاعى. وتنتج الأفلام البانكروماتيك مرئيات رمادية (أبيض واسود) وهى النوع اكثر شيوعا فى التصوير الجوى.كما يستخدم التصوير فوق البنفسجى أيضا الأفلام البانكروماتيك لكن مع استخدام فلتر فى الكاميرا لامتصاص وحجب الأشعة المرئية كى لاتصل إلى الفيلم. ونتيجة لذلك فان الانعكاس فوق البنفسجى (المنبعث من الهدف) هو الذي يتم تسجيله فقط. ولا يستخدم التصوير الجوى فوق البنفسجى على نطاق واسع، نتيجة التشتت والامتصاص فى الغلاف الجوى الذى يحدث فى هذه النطاقات من الطيف الكهرومغناطيسى. ويستخدم التصوير الجوى الرمادي للأشعة تحت الحمراء أفلاما حساسة لكافة النطاق الموجى بين 0.3 و 0.9 ميكرومتر ، وهو مفيد فى تتبع الفروقات فى الغطاء النباتى، نتيجة حساسية للارتداد فى الأشعة تحت الحمراء.

ويتضمن التصوير الملون Colour والتصوير الملون الزائف (أو ما يعرف بتصوير الأشعة تحت الحمراء الملونة Colour Infrared CIR) استخدام أفلام ذات ثلاث طبقات كل طبقة منها حساسة لمدى معين من الضوء. ففى التصوير الملون العادي Normal Colour Photographفإن الطبقات تكون حساسة للأشعة في النطاق الموجي والأحمر والأخضر والأزرق، وهى نفس قدرة أعيننا على تمييز الألوان. وتظهر هذه الصور مستخدمة نفس الألوان العادية (حيث تظهر الأشجار "خضراء"). أما في التصوير الملون للأشعة تحت الحمراء CIR فان هذه الطبقات الثلاثة تكون حساسة للأخضر والأحمر وللجزء الفوتوغرافى من الأشعة تحت الحمراء القريبة. والتي يتم معالجتها لتظهر زرقاء وخضراء و حمراء على التوالي.

وفى حالة الصور زائفة الألوان False Colour فان الأهداف ذات الانعكاسية العالية في الأشعة تحت الحمراء القريبة تبدو حمراء ، وتلك ذات الانعكاسية الحمراء العالية تبدو خضراء وتلك ذات الانعكاسية الخضراء العالية تبدو زرقاء وهو ما يعطى تمثيلا زائفا للأهداف بالنسبة للألوان التي تدرك بها أعيننا عادة هذه الأهداف.

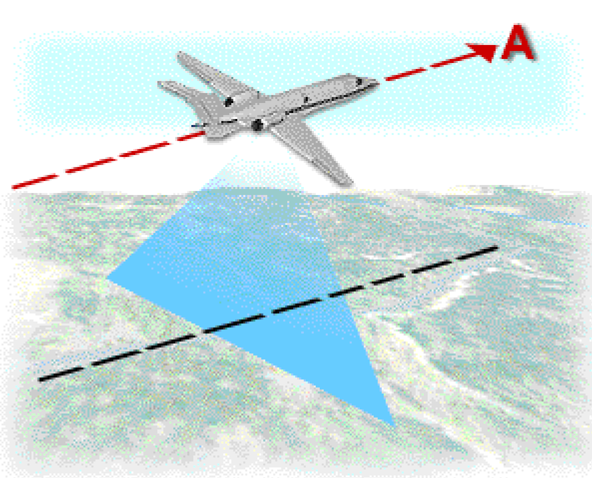
ويمكن أن تثبت هذه الكاميرات في مختلف الحاملات Platforms مثل الحوامل الأرضية (التصوير على الأرض) أو على الطائرات العمودية (الهيليكوبتر) أو الطائرات المجنحة أو المركبات الفضائية. ويمكن أن نحصل على الصور الغنية بالتفاصيل من تصوير الطائرات وهى مفيدة لعديد من التطبيقات حين يكون تمييز التفاصيل أو الأهداف الصغيرة هدف أساسيا. وتعتمد التغطية الأرضية للصورة على عوامل عدة أهمها الطول البؤري

للعدسات ، ارتفاع التصوير ، ونوع وحجم الفيلم. ويتحكم الطول البؤري بشكل فعال فى المجال الزاوي للرؤية Angular Field of View الخاص بالعدسات (وهو شبيه بمفهوم المجال

اللحظى "السريع") للرؤية IFOV (المخروط الحاد الزاوية) الذى ناقشناه مطلع هذا الفصل تحت عنوان "درجة الوضوح المكانى" وهى التي تحدد المساحة التى "تراها" الكاميرا.

والأطوال البؤرية النموذجية هي 90ملم و210 ملم والأكثر شهرة هي 152 ملم. وكلما زاد الطول البؤرى كلما كانت المساحة التي يغطيها التصوير على الأرض صغيرة لكن بتفاصيل واضحة (مقياس كبير أو تفصيلى). وتعتمد المنطقة التي يغطيها التصوير أيضا على ارتفاع التصوير.

فعند الارتفاعات العالية ستتمكن الكاميرا من "رؤية" مساحة أكبر على الأرض من تلك الكاميرات التي تصور على ارتفاعات أقل، لكن ستكون التفاصيل محددة (مقاييس صغيره أو عامه). ويمكن أن تقدم الصور الجوية تفاصيل كبيرة حتى مستوى درجة وضوح مكاني مقدارها 50 سم أو أقل وتختلف درجة الوضوح المكاني Spatial Resolution للصور الجوية بناء على مجموعة معقدة من العوامل التي يختلف تأثيرها في كل مرة يتم فيها التقاط البيانات وتصنف أغلب الصور الجوية إما إلى صور مائلة Oblique رأسية Vertical بناء على توجيه الكاميرا بالنسبة للأرض خلال عمليه التقاط الصور. فالصور الجوية المائلة تؤخذ حين تكوين الكاميرا موجهة جانبيا بالنسبة للطائرة. وتتضمن الصور شديدة الميل High Oblique عادة الأفق Horizon بينما الصور قليلة الميل فلا تتضمن ذلك. ويمكن أن تستخدم الصور المائلة بشكل فعال في تغطيه مناطق واسعة في صورة واحدة ولأخذ صورة أوليه من نوع التضاريس ومقياسها. ولكنها لا تستخدم علي نطاق واسع في إنتاج الخرائط نتيجة التشوه في المقياس المختلف في الجزء المواجه لمقدمة الصورة Foreground عن مؤخرة الصورة Background وهو ما يعيق سهولة قياس المسافة والمساحة والمناسيب.



أما الصورة الرأسية Vertical Photograph والتي تصور بكاميرات ذات عدسة أحادية Single-Lense فهي الأكثر استخداما في أغراض الاستشعار عن بعد. وهذه الكاميرات مصممه بشكل خاص لالتقاط عدد متتابع من الصور مع تحقيق أقل قدر من التشوه الهندسي. وعادة ما تربط بأنظمة ملاحية على الطائرات بهدف ربطها بإحداثيات دقيقة يتم تعينها بدقة لكل صورة. وتتضمن اغلب أنظمة الكاميرات آليات تعوض بها تأثير حركة الطائرة النسبية للأرض، بهدف تقليل التشوه قدر الإمكان.

وحين نحصل على صور جوية راسية ، فان الطائرة تحلق عادة فى نسق (سلسلة) من الخطوط ، يعرف كل خط منها بـ"خط الطيران Flight Line ". تلتقط الصور بتتابع سريع مع تحقيق قدر من التداخل (A) بين الصور بنسبة 50-60 %. ويضمن التداخل تغطية كاملة على طول خط الطيران ويسهل أيضا من رؤية مجسمة بأجهزة الاستريوسكوب Steroscoping Viewing وتعرض زوجيات الصور المتتابعة لمنطقة التداخل من زوايا مختلفة. ويمكن أن ترى عبر جهاز يسمى الاستريوسكوب لتظهر البعد الثالث. وتعتمد عديد من التطبيقات في التصوير الجوى على التغطية الاستريوسكوبية والرؤية المجسمة.

والصور الجوية مفيدة للغاية حين يكون الهدف الوقوف على تفاصيل مكانية بدرجة محددة تفوق قدرة المعلومات الطيفية Information Spectral تبدو عامة في تفاصيلها مقارنة بحجم التفاصيل الكبير في أدوات التصوير الإليكترونية. ويعرف العلم الذي يهتم بالقياسات من الصور الجوية باسم الفوتوجرامتري Photogrametry (علم التصوير الجوى) وغالبا ما تفسر الصور الجوية يدويا من قبل الإنسان (أغلبها تفسيرات لزوجيات بالاستريوسكوب) ويمكن أن يتم نسخها ضوئيا Scanned ليصنع منها مرئية رقمية ثم تحلل باستخدام الحاسب الآلي.

التصوير الجوى المتعدد القنوات Multi-Band Photography

يستخدم هذا النوع من التصوير أنظمة متعددة العدسات multi-lense مع فلاتر أفلام مختلفة بهدف التقاط الصور بشكل متزامن للمجالات الطيفية المتعددة. وتكمن مميزات هذه الأنواع من الكاميرات في قدرتها على تسجيل الطاقة المنبعثة وبشكل منفصل للأطوال الموجية المختلفة وهو ما يؤدى إلى إمكانية فصل أفضل وتمييز أدق لمختلف الظاهرات. ولكن من المهم الإشارة إلى أن التحليل المتزامن لهذه الصور المتعددة يسبب إرباكا. فالكاميرات الرقمية Digital Camera ، والتي تسجل الإشعاع الكهرومغناطيسى إليكترونيا تختلف جذريا عن نظيرتها التي تستخدم الأفلام. فهنا لا تستخدم الكاميرات الرقمية الأفلام بل تستخدم سطح شبكي array Gridded مغلفة بالسيلكون Silicon-Coated (Charge-coupled devices) يستجيب بشكل فردي للإشعاع الكهرومغناطيسى. وتتسبب الطاقة الواصلة إلى السطح الشبكي فى توليد شحن كهربائية تختلف درجتها حسب قوة "السطوع Brightness " لسطح الأرض. ويتم تعيين القيمة الرقمية فى كل بيكسل لكل قناة طيفية بناء على درجة الشحن الكهربائية. ويمكن أن يستخدم المنتج الرقمي لهذه الصور فى التحليل الرقمي والأرشفة الرقمية بالأساليب الكومبيوتريه ، كما يمكن أن يكون الشكل المنتج ورقا مطبوعا يشبه الصور الفوتوغرافية المألوفة. وتقدم الكاميرات الرقمية أيضا خيارات اكثر وأسرع سواء في عملية التقاط الصور أو استرجاع البيانات كما تسمح بتحكم أكبر فى درجه الوضوح الطيفى. وعلى

الرغم من أن المعايير فى المقارنة مختلفة إلا أن أنظمة التصوير الرقمى بشكل عام قادرة على جمع بيانات ذات درجه وضوح مكانى مقدارها 0.3 م وبدرجة وضوح طيفى تتراوح بين 0.012 و 3 ملم. وعدد البيكسل فى السطح الشبكي مختلف باختلاف أنظمة الكاميرات وإن كان يتراوح بشكل عام بين 512 x 512 إلى 2048 x 2048.

الاستشعار متعدد الأطياف Multispectral Scanning MSS

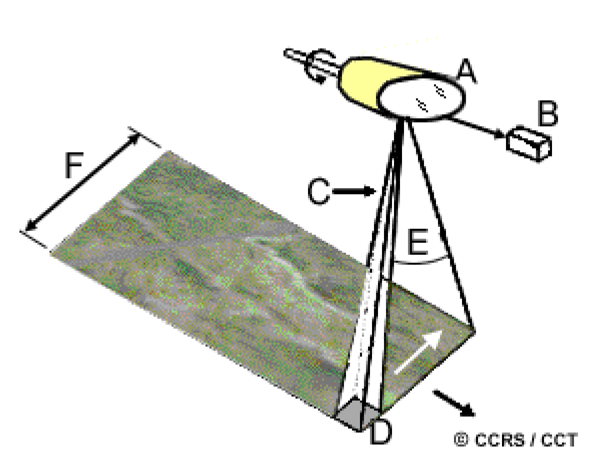
تقوم عديد من المستشعرات الإليكترونية (خلافا لأجهزة الاستشعار التصورية) بالتقاط البيانات باستخدام أنظمة التصوير الضوئى Scanning والتى تستخدم مستشعر ذا نطاق محدود فى الرؤيه (IFOV). ويمسح هذا المستشعر سطح الأرض لالتقاط صور ثنائية البعد للسطح. ويمكن أن تثبت أنظمة التصوير الضوئي على حاملات للطائرات والأقمار الصناعية ولها أسس التشغيل تقريبا.

ويسمى نظام المسح الضوئى المستخدم لجمع البيانات لأطوال موجية مختلفة باسم الماسح الضوئي المتعدد الأطياف Multispectral Scanner MSS وهو النظام الأكثر استخداما. هناك نمطان أو وسيلتان من المسح الضوئي المستخدمة في التقاط مرئيات متعددة الأطياف وهما:

- المسح الضوئى عبر خط المدار Across - Track
- المسح الضوئى على طول خط المدار Along - Track

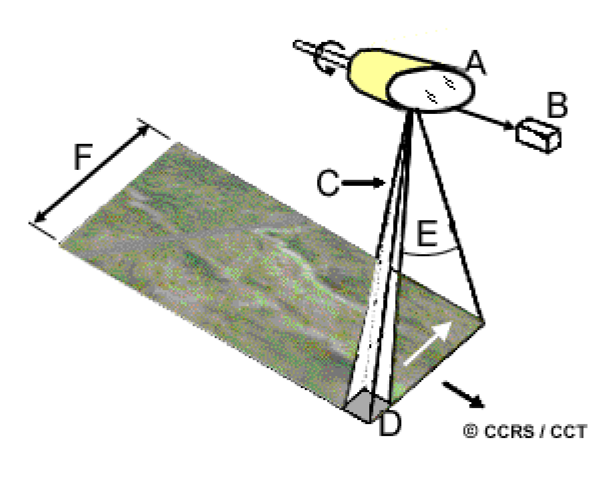
المسح الضوئى عبر خط المدار

ويقوم بمسح الأرض فى سلسله من الخطوط. واتجاه هذه الخطوط عمودى على اتجاه حركه حامل المستشعر (عبر الرقاع المصورة across the swath) ويتم مسح كل خط من طرف المستشعر إلى الطرف الأخر باستخدام مرآة دوارة Rotating mirror (A) ومع تحرك حامل المستشعر إلى الأمام عبر خط التصوير يتم التقاط مرئيات متتابعة ثنائية البعد لسطح الأرض.



ويتم فصل الإشعاع القادم من الهدف (المنعكس أو المنبعث) إلى مُركبات طيفية متنوعة يتم التقاطها بشكل مستقل (منفردة). ويتم تسجيل الأشعة فوق البنفسجية والمرئية والقريبة من تحت الحمراء والحرارية في فئاتها الموجية. وهناك عدد هائل من المتتبعات الداخلية Internal Detector وكل منها حساس لمدى معين من الأطوال الموجية – يتتبع ويقيس الطاقة لكل قناة

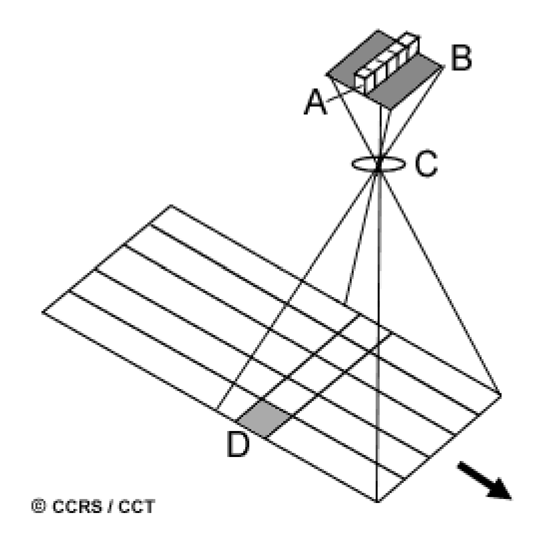
طيفية، ومن ثم – وعلى نحو الإشارة الإلكترونية – تتحول إلى بيانات رقميه وتحفظ عمليات كومبيوتريه لاحقة.



ويحدد كل من المجال اللحظي للرؤية (نطاق الرؤية) للمستشعر (C) وارتفاع التصوير درجة الوضوح الأرض للخلية المصورة (D) Ground Reolution Cell وبالتالي تحدد درجة الوضوح المكاني. ويعتبر في هذه الحالة المجال الزاوي للرؤية (E) Angular Field of View هو النطاق الذي تتحرك من المرآة sweep of the mirror ، ويقاس بالدرجات التي تستخدم لتسجيل خط المسح scan line وتحدد اتساع الرقعة المصورة (F)

وتتحرك الماسحات الضوئية المحمولة في الطائرات Airborne sweep في زوايا واسعة (بين90و 120 درجة)بينما تلك المحمولة في أقمار صناعية – ونتيجة لارتفاعها الكبير لا تحتاج سوى للتحرك في زوايا محدودة نسبيا (10–20 درجة) لتغطى مساحة واسعة. ونظرا لان المسافة بين المستشعر والهدف تزداد في اتجاه حواف الرقاع المصورة swathفان خلايا الوضوح الأرض عند الحواف تصبح اكبر وتؤدى إلى تشوه هندسي للمرئيات. ويتسم طول الزمن اللحظي للرؤية IFOV الذي "يرى" الخلية الأرضية مع حركة مرآة الماسح الضوئى بالقصر ويعرف هذا الطول باسم زمن البقاء Dwell Time. وهو زمن قصير بشكل عام ويؤثر على درجات الوضوح المكانى والطيفي والراديومترى للمستشعر.

الماسح الضوئي على طول خط المدار Along-Track



ويستخدم أيضا الحركة الأمامية لحامل المستشعر (طائرة / قمر صناعي) بهدف تسجيل خطوط المسح الضوئى بطريقة متتابعة وتكوين مرئية ثنائية البعد ملتقطة عموديا على اتجاه الطيران. لكن بدلا من المرآة يستخدم هذا النوع من الماسح الضوئي نسق خطى من المتتبعات Linear array of detectors (A) مثبتة عند المحور البؤري للمرئية (B) والمؤلف من أنظمة عدسات (C) يتم "دفعها" في اتجاه حركة الطيران. ويسمى هذا النظام أيضا باسم ماسحات الدفع Pushbroom Scanner وذلك لان حركة النسق الخطى من المتتبعات تتم بشكل مناظر ويقيس كل متتبع على حدة الطاقة المنبعثة أو المنعكسة من كل خلية أرضية على حدة (D) وبالتالى فان حجم نطاق الرؤية IFOV للمتتبعات يحدد درجة الوضوح المكانى للنظام. وهناك نسق خطى من المتتبعات مخصص لقياس كل قناة طيفية على حدة. وفى كل خط من خطوط المسح الضوئى فان الطاقة المتتبعة من قبل كل متتبع فى كل نسق خطى يتم تخزينها إلكترونيا ورقميا.

وللماسحات الضوئية على خط المدار Along Track ذات النسق الخطى مزايا عديدة تتفوق بها على الماسحات عبر المدار ذات المرايا. فنسق المتتبعات المدعوم بحركة الدفع Pushbroom يسمح لكل متتبع أن "يرى" ويقيس الطاقة من كل خلية أرضية لفترة زمنية أطول (زمن بقاء أطول) ويسمح هذا بتتبع مز يد من الطاقة ويسهم فى تحسين درجة الوضوح الراديومترى. كما يسهم طول زمن البقاء بتسهيل نطاقات الرؤية IFOVs والقنوات المحدودة الاتساع فى كل متتبع ومن ثم يمكن الحصول على درجة وضوح مكاني وطيفي افضل دون التأثير على درجة الوضوح الراديومترى. ونظرا لان المتتبعات عبارة عن أدوات صلبة من الإليكترونيات الدقيقة فإنها بالتالي صغيرة وخفيفة ولا تتطلب كثيرا من الطاقة، ويمكن الاعتماد عليها وتعيش لفترة زمنية أطول لأنها لا تتألف من أجزاء متحركة. لكن في المقابل نحتاج هنا إلى آلاف من المعايرات العرضية Cross-Calibrating في المتتبعات Detectors لكى نحصل على حساسية متجانسة عبر النسق Array.

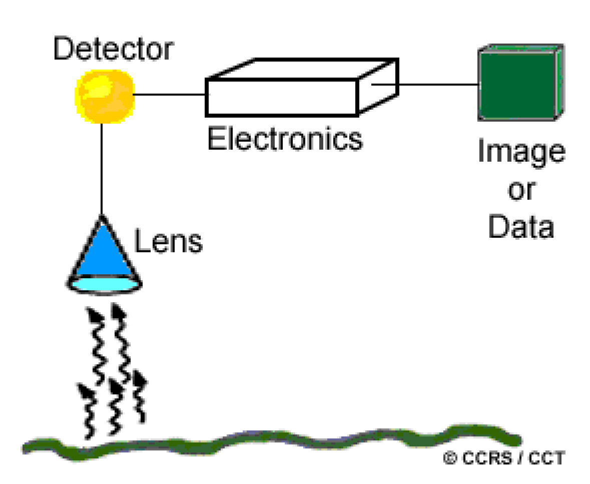
وبغض النظر عما إذا كان نظام المسح الضوئى المستخدم في أي من هذين النوعيين، فان لهما مميزات عديدة تتفوق بها على الأنظمة الفوتوغرافية. فالمدى الطيفى للأنظمة الفوتوغرافية قاصر على النطاقات المرئية القريبة من تحت الحمراء، بينما أنظمة الماسح الضوئي متعدد الأطياف يمكنها ان تشمل النطاق تحت الحمراء الحرارى. كما انها قادرة على توفير درجة



وضوح طيفية عالية بالمقارنة بالأنظمة الفوتوغرافية. فالأنظمة الفوتوغرافية متعددة الأطياف أو متعددة القنوات Multi-Bands or Multispectral تستخدم أنظمة عدسات منفصلة لالتقاط كل قناة طيفية على حدة. وهو ما قد يؤدى إلي وقوع بعض المشكلات في تأمين وجود القنوات المختلفة قابلة للمقارنة عند المستويين المكانى والراديومترى كما قد تحدث مشكلات مع تسجيل Registrationالمرئيات المتعددة.

فى المقابل فان الماسح الضوئى متعدد الأطياف MSS يلتقط كافة القنوات الطيفية فى وقت متزامن عبر نفس النظام البصرى Optical للعمليات الفوتوكيمائية التى يصعب قياسها. ولأن بيانات الماسح الضوئى متعددة الأطياف يتم تسجيلها إليكترونيا فمن الأسهل تحديد المقدار المحدد للطاقة المقاسة، ويمكنها تسجيل مدى اكبر من القيم وبصورة رقمية. وتتطلب الأنظمة الفوتوغرافية إمداد متواصل من الأفلام وعمليات معالجة على الأرض بعد التصوير. أما التسجيل الرقمى Digital فى الماسح الضوئى المتعدد الأطياف MSS فيسهل من انتقال البيانات إلى محطات الاستقبال على الأرض حيث تجرى لها فوريا عمليات المعالجة بأجهزة الحواسيب.

التصوير الحراري Thermal Imaging



تشعر عديد من أنظمة المسح المتعدد الأطياف MSS بالإشعاع فى المنطقة تحت الحمراء الحرارية بنفس درجة شعورها بالأشعة في المنطقة المرئية وتحت الحمراء المنعكسة. وتختلف الطاقة المنبعثة من الأرض فى النطاق الحرارى تحت الحمراء (والذى يتراوح طوله الموجى بين 3-15 ميكرومتر) عن بقية الطاقة المنعكسة. فالمستشعرات الحرارية Thermal Sensorsتستخدم متبعات تصويرية Photo Deectors حساسة للاتصال المباشر مع الفوتون Photon على سطحها ، وذلك كى تتبع الإشعاع الحراري المنبعث. ويتم تبريد المتتبعات إلى درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق بهدف تحييد حرارتها المنبعثة ذاتيا. وتقيس المستشعرات الحرارية في الأساس درجة الحرارة السطحية والخصائص الحرارية للأهداف.



واللاقطات الحرارية Thermal Imagers هي بالدرجة الأولى لاقطات من النوع المتحرك عبر المدار across-track تتبع الإشعاع المنبعث فقط في النطاق الحراري من الطيف. وتوظف

المستشعرات الحرارية واحد أو اكثر من درجات الحرارة الداخلية Internal Temperature Refrences من أجل المقارنة مع الإشعاع المتتبع Detected. ومن ثم فيمكن أن تقارن بدرجات الحرارة الإشعاعية المطلقة. وتسجيل البيانات عادة على أفلام و/أو شرائط ممغنطة magnetic tapes ، ويمكن أن تصل درجة الوضوح الحرارى للمستشعرات الحرارية الحالية إلى 0.1 درجة مئوية، وتحصل المرئية ذات درجات الحرارة المشعة نسبيا (الثيرموجرام Thermogram) على درجات رمادية ، بحيث تكون المواضع ذات درجات الحرارة الدافئة ذات درجات رمادية فاتحة والمواضع ذات درجات الحرارة الباردة على درجات داكنة. والمرئيات التى تعرض لهذا النوع من البيانات مفيدة فى تطبيقات مختلفة. فقياسات درجات الحرارة المطلقة يمكن أن تحسب بناءً على هذه المرئيات وان تطلبت معايير دقيقة وقياس دقيق لدرجات الحرارة ومعرفة تفصيلية بالخصائص الحرارية للهدف محل التصوير، ومعرفة التشوهات الهندسية والآثار الراديومترية.

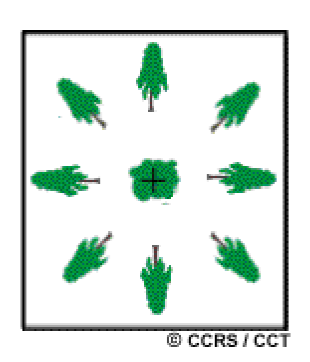
وبسبب الأطوال الموجية الطويلة نسبيا للإشعاع الحراري (مقارنة بالإشعاع في النطاق المرئى) فان التشتت الجوى يكون هنا محدودا وان كانت الغازات الجوية وعمليات الامتصاص تحد عادة من الاستشعار الحراري في نطاقين بعينهما من الأطوال الموجية وهى: 3-5 ميكرومتر ومن 8-14ميكرومتر.

ولان الطاقة تتناقص مع زيادة الأطوال الموجية، فان المستشعرات الحرارية بشكل عام لديها مجالات للرؤية IFOVs لكي تضمن وصول طاقة كافية إلى المتتبع كى تسجل قياسات يعتمد عليها. ومن ثم فان درجة الوضوح المكانى للمستشعرات الحرارية عامة التفاصيل Fairly Coarse ، مقارنة بدرجة الوضوح المكانى الممكن توفيرها فى الإشعاع المرئى وتحت الحمراء المنعكسة.

ويمكن التقاط المرئيات الحرارية خلال النهار أو الليل (لان الإشعاع منبعث وليس منعكس) وتستخدم لتطبيقات مختلفة مثل الاستكشافات العسكرية وإدارة الكوارث(إعداد خرائط الغابات مثلا) ورصد الأضرار الحرارية.

التشوهات الهندسية في التصوير الاستشعاري

إن أي تصوير استشعاري ، بغض النظر عن التقاطه من قبل ماسح ضوئى متعدد الأطياف مثبت على قمر صناعى أو أنظمة فوتوغرافية على طائرة، أو أي وسيلة أخرى في الرصد، سينتج عنها تشوهات هندسية مختلفة. وهذه مشكلة أصيلة في الاستشعار عن بعد وذلك لأننا نحاول أن ننقل صورة الأرض الثلاثية البعد في مرئية ثنائية البعد. وكافة المرئيات الاستشعارية عرضة بشكل أو آخر للتشوهات الهندسية بناء على



الطريقة التى تم بها نقل البيانات. ويمكن أن تكون هذه الأخطاء نتيجة عوامل عدة أهمها ما يلي:

-منظور بصريات المستشعر Sensor Optics

-حركة نظام الماسح الضوئى

- الحركة والثبات فى حامل المستشعر

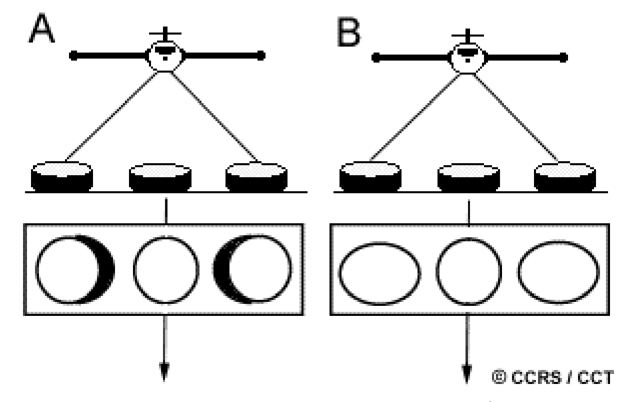
-ارتفاع التصوير وسرعته وطريقته

-التضاريس محل التصوير

-استدارة ودوران الأرض

وتقدم أنظمة التصوير، مثل الكاميرات المستخدمة فى التصوير الجوى ، تسجيل لقطات ثابتة Snapshot للأرض من ارتفاع رأسي مباشر. ويحدث التشوه الهندسى الأساسي فى الصور الجوية الرأسية نتيجة الإزاحة التضاريسية Relief Displacem، فالأشياء الواقعة مباشرة اسفل مركز عدسة الكاميرا (نقطة المركز Nadir) سيرى منها فقط القمم، بينما الأشياء الأخرى سترى وقد انحرفت عن مركز الصورة بحيث يمكن رؤية قممها وجوانبها .ولو كانت الأشياء طويلة أو بعيدة عن مركز الصورة سيكون مقدار التشوه والخطأ الإحداثي Positional error كبيرا.

ولعل هندسة التصوير عبر الماسح المتحرك على طول المدار Along track شبيهة بالتصوير الجوى لكل خط من خطوط المسح الضوئى Scanline وذلك لان كل متتبع يأخذ فى الأساس " لقطة ثابتة Snapshot " لكل خلية أرضية. وتتكون التباينات الهندسية بين الخطوط نتيجة التباين العشوائى فى ارتفاعات التصوير وطريقة عمله على طول خط الطيران.



والمرئيات الملتقطة من أنظمة الماسحات الضوئية المتحركة عبر المدار تتعرض لنوعين من التشوه الهندسى. فأولا تتعرض لإزاحة تضاريسية (A) على نحو ما تتعرض الصور الجوية، لكن في اتجاه واحد فقط مواز لاتجاه المسح الضوئى. وليس هناك إزاحة مباشرة اسفل المستشعر ، عند نقطة النادير Nadir. ومع قيام المستشعر بالمسح الضوئى عبر الرقاع فان قمم وجوانب الأشياء يتم تصويرها وتظهر منحرفة عن نقطة المركز فى كل خط تصوير. مره أخرى تزداد الإزاحة وتتحرك هذه المرة تحو أطراف الرقاع المصورة.



وهناك نوع آخر من التشوه (B) يحدث نتيجة دورة الجهاز البصرى للماسح الضوئى. فمع قيام المستشعر بالمسح عبر كل خط ، تزداد المسافة بين المستشعر والأرض خاصة كلما بعدنا عن مركز الرقع المصورة. وعلى الرغم من أن مرآة الماسح الضوئى تدور بسرعة ثابتة الا ان مجال الرؤيه IFOV للمستشعر يتحرك بدرجة أسرع ومن ثم يمسح منطقة أوسع حين يتحرك نحو حواف الرقع المصورة. ويؤدى ذلك إلى إنضغاط Compression فى مظاهر المرئية عند النقاط البعيدة عن نقطة المركز، ويسمى هذا النوع من التشوه Tangential Scale Distortion وكافة المرئيات عرضه للتشوه الهندسي نتيجة التباينات في درجة ثبات حامل المستشعر إضافة إلى التغيرات فى السرعة والارتفاع و توجيه زاوية التصورية بالنسبة للأرض خلال عملية التقاط البيانات Data Acquistion.

وتختلف مصادر التشوه الهندسى والخطأ الإحداثي مع كل موقف ولكن هذه الأخطاء أصيلة في مرئيات الاستشعار. وفي اغلب الأمثلة بوسعنا إزالة أو على الأقل التقليل من هذه الأخطاء، لكن يجب أن يؤخذ ذلك في الاعتبار في كل حاله وقبل محاولة إجراء القياسات أو استخراج معلومات إضافية من المرئيات.

الآن وقد عرفنا السمات العامة حول حاملات المستشعرات platforms والمستشعرات Sensors سنلقي فى القسم التالي نظرة على بعض المستشعرات (وبالدرجة الأولى في الأقمار الصناعية) التي تعمل في النطاق المرئي وتحت الحمراء من الطيف الموجي.

أقمار ومستشعرات الطقس



تعتبر عملية رصد الظواهر الجوية والتنبؤ بها واحدة من أولى التطبيقات السلمية Civilian (فى مقابل العسكرية Military) للاستشعار عن بعد بالأقمار الصناعية، ويعود تاريخها إلى أول قمر للطقس والمعروف باسم تيروس-1 TIROS-1 (Television and Infrared Observation Satellite) والذي أطلق في عام 1960من قبل الولايات المتحدة. وهناك عديد من أقمار الطقس أطلقت خلال السنوات الخمس التي تلت ذلك التاريخ ، وفى مدارات شبه قطبية Near-Polar بما يجعلها تقدم تغطية متتابعة لأنماط الطقس العالمي. وفى عام 1966 أطلقت وكالة ناسا NASA (US National Aeronautics and Space Administration) القمر أتس-1 ATS-1 الذى قدم مرئيات لنصف الكرة الأرضية وبتغطية ملونة لكل نصف ساعة.

ولأول مرة صار في الإمكان تتبع التطور والحركة في أنظمة الطقس . وهناك اليوم عدة دول تُشغل أقمار للرصد الجوى ومراقبة الأحوال الجوية في دول العالم. وبصفة عامة فان هذه الأقمار تستخدم مستشعرات ذات درجة وضوح مكاني محدودة Coarse (إذا قارناها بأقمار الرصد الأرضي) وتقدم تغطيه لمساحات واسعة.

وفى المقابل فان درجة الوضوح الزمني Temporal Resolution مرتفعة للغاية، إذ تقدم مراقبة متكررة ومتتابعة لسطح الأرض وللرطوبة الجوية والسحب، وهو ما يسمح برصد شبه متصل لأحوال الطقس العالمي، ومن ثم إمكانية التنبؤ. وفيما يلى سنراجع بعض أهم الأقمار المستخدمة في هذا الرصد.

أقمار الرصد البيئى جويس GOES





تعد أقمار جويس Geostationary Operational Environmental Sattelite هى الجيل التالي لسلسلة أقمار أتس ATS. وقد صممتها وكالة ناسا لصالح الهيئة القومية للبحار والمحيطات والأرصاد الجوية National Oceanic and Atmospheric Administration والمعروفة اختصارا باسم نووا NOAA لتقدم لهيئة الطقس فى الولايات المتحدة مرئيات متكررة صغيرة المقياس لسطح الأرض وغطاء السحب. وقد استخدمت سلسلة أقمار جويس بشكل كثيف من قبل المترولوجيين لرصد الطقس والتنبؤ به على مدى اكثر من 20سنه وهذه الأقمار هي جزء من شبكة عالمية للأقمار المترولوجية التى تغطى الأرض متباعدة عن بعضها بمقدار 70 درجة من خطوط الطول. بهدف تحقيق تغطيه شبه كاملة للأرض. وهناك قمران من جويس مثبتان على ارتفاع 36000كم من المدارات الثابتة فوق خط الاستواء. ويرى كل منهما نحو ثلث الكرة الأرضية. ويقع واحد منهما على خط طول 75 غربا ويراقب أمريكا الشمالية والجنوبية ومعظم المحيط الأطلسي ويقع الثاني على خط طول 135 غربا ويرصد أمريكا الشمالية وحوض المحيط الهادئ. وهما يغطيان الأرض فيما بين خطى طول 20 غربا الى165 شرقا.

وتغطى مرئية جويس المرفقة قسما من جنوب شرق الولايات المتحدة والمناطق المحيطة الملاصقة لها، حيث مناطق نشأة وتحرك العواصف العاتية. وتوضح المرئية المرفقة إعصار الهيريكين المعروف باسم فران Fran وهو يقترب من جنوب شرق الولايات المتحدة والبهاما فى سبتمبر من عام 1996.

وقد أُطلق جيلان من أقمار جويس يقيس كل منها الإشعاع المنبعث والمرتد المسؤول عن تكوين درجات الحرارة والرياح والرطوبة والسحب. وقد تالف الجيل الأول من أقمار جويس-1 GOES-1 (والذي أطلق عام 1975) وتطورت الأجيال حتى وصلنا إلى جويس-7 GOES-7 (والذي أطلق في 1992). وتبعا لتصميمها، فان هذه الأقمار قادرة على رؤية الأرض في نسبة مئوية صغيره فقط من الزمن (نحو 5%). أما الجيل الثاني فيبدأ مع جويس -8 (أطلق عام 1994) ولقي تحسينات تقنية متعددة خلال السنوات الماضية. وتقدم هذه الأقمار مراقبة شبه متواصلة للأرض وتغطية اكثر قربا (كل 15 دقيقة) وهذه الزيادة في درجة الوضوح الزمني جنبا إلى جنب مع التحسن فى درجة الوضوح المكانى والراديومترى للمستشعرات تقدم معلومات محدثة وعالية الكفاءة للتنبؤ بالأحوال الجوية.

ويقوم جويس-8 والجيل الثاني من أقمار جويس بفصل البيانات المرئية والصوتية Imaging & Sounding فى أدوات تسجل مستقل. فجهاز تسجيل المرئية Imager يتم من خلال خمس قنوات استشعارية فى النطاقات المرئية وتحت الحمراء لتسجيل الإشعاع المنبعث والمرتد. وتسمح البيانات تحت الحمراء بتصوير ليلى ونهارى. فالمستشعر له قدره على التوجيه والمسح بحيث تكون المساحة المغطاة نصف الكرة الأرضية أو مساحات ذات مقياس صغير لمناطق بعينها. وفى الحالة الأخيرة يتمكن المترولوجيون من رصد مشكلات الطقس فى بقع بعينها للمساعدة فى تحسين التنبؤ على المدى القصير. ولجهاز تسجيل المرئية درجة وضوح راديومترية مقدارها 10بت Bit ويمكنه نقل بيانات مباشرة إلى محطة طرفية على سطح الأرض. ويشير الجدول التالي إلى القنوات المختلفة و إلى درجات وضوحها المكاني وتطبيقاتها المترولوجية.

GOES Bands			
Band	Wavelength Range (µm)	Spatial Resolution	Application
1	0.52 - 0.72 (visible)	1 km	cloud, pollution, and haze detection; severe storm identification
2	3.78 - 4.03 (shortwave IR)	4 km	identification of fog at night; discriminating water clouds and snow or ice clouds during daytime; detecting fires and volcanoes; night time determination of sea surface temperatures
3	6.47 - 7.02 (upper level water vapour)	4 km	estimating regions of mid-level moisture content and advection; tracking mid-level atmospheric motion
4	10.2 - 11.2 (longwave IR)	4 km	identifying cloud-drift winds, severe storms, and heavy rainfall
5	11.5 - 12.5 (IR window sensitive to water vapour)	4 km	identification of low-level moisture; determination of sea surface temperature; detection of airborne dust and volcanic ash

أما جهاز تسجيل البيانات الصوتية Sounder فيحتوى على 19 قناة تقيس الإشعاع المنبعث فى 18 قناة حرارية تحت حمراء والإشعاع المنعكس فى قناة مرئية واحدة. وهذه البيانات ذات درجة وضوح مكانى بمقدار 8 كم ودرجة وضوح راديومترى مقدارها 13بت.

وتستخدم البيانات الصوتية لرصد درجات الحرارة السطحية وعلى قمم السحب Cloud Top وقياس درجات الحرارة الرطوبة في الغلاف الجوى ، وتحليلات توزيع الاوزون.

أقمار نووا NOAA

نووا أيضا مسئولة عن سلسلة أخرى من الأقمار المستخدمة في الأغراض المترولوجية ، وغيرها من التطبيقات. وهذه الأقمار والتي تدور مع الشمس Sun-Synchronous وفى مدارات قريبة من المحور القطبي near-polar (ومن ارتفاع يتراوح بين 830 و 870 كم) هي جزء من سلسلة الأقمار المتقدمة تيروس TIROS(والتي يعود اصلها من الناحية التاريخية إلى عام 1960) وتقدم معلومات مكملة للأقمار المترولوجية الثانية (مثل جويس). وهناك قمران يقدم كل منهما تغطية عالمية ويعملان معا لتامين وجود بيانات لأي جزء من الأرض لا يزيد قدمها عن



6 ساعات مضت. ويعبر إحداهما خط الاستواء من الشمال للجنوب في الصباح الباكر بينما يعبره الثاني فى فترة ما بعد الظهر.

والمستشعر الأساسي فى أقمار نووا –والذي يستخدم لكل من الأغراض المترولوجية والتطبيقات التفصيلية– هو الراديوميتر المتقدم فائق الوضوح Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) ويتتبع هذا المستشعر الإشعاع فى النطاق المرئي وتحت الحمراء القريب والمتوسط والحراري تحت الحمراء. وتبلغ الرقعة الأرضية التى يغطيها نحو 3000 كم. والجدول التالي يعرض لخصائص هذا المستشعر.

NOAA AVHRR Bands

Band	Wavelength Range (μm)	Spatial Resolution	Application
1	0.58 - 0.68 (red)	1.1 km	cloud, snow, and ice monitoring
2	0.725 - 1.1 (near IR)	1.1 km	water, vegetation, and agriculture surveys
3	3.55 -3.93 (mid IR)	1.1 km	sea surface temperature, volcanoes, and forest fire activity
4	10.3 - 11.3 (thermal IR)	1.1 km	sea surface temperature, soil moisture
5	11.5 - 12.5 (thermal IR)	1.1 km	sea surface temperature, soil moisture

ويمكن الحصول على بيانات المستشعر الراديومترى فائق الوضوح AVHRR وصياغة هذه البيانات بأربع طرق، بناء على وسيلة النقل ودرجة الوضوح المطلوبة. فالبيانات يمكن ان تنقل مباشرة إلى الأرض أو تسجل على القمر أولا لترسل فيما بعد. ويعرض الجدول التالي لهذه الصيغ الأربع.

AVHRR Data Formats

Format	Spatial Resolution	Transmission and Processing
APT (Automatic Picture Transmission)	4 km	low-resolution direct transmission and display
HRPT (High Resolution Picture Transmission)	1.1 km	full-resolution direct transmission and display
GAC (Global Area Coverage)	4 km	low-resolution coverage from recorded data
LAC (Local Area Coverage)	1.1 km	selected full-resolution local area data from recorded data

وعلى الرغم ان بيانات المستشعر AVHRR واسعة الاستخدام في أنظمة تحليل

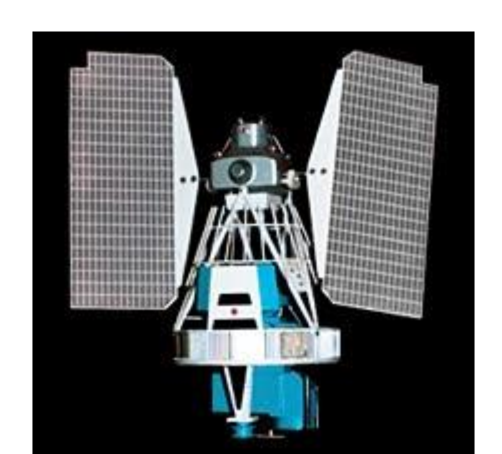
الطقس والتنبؤ به، فان المستشعر يستخدم في رصد بيانات أرضيه كذلك. ولبيانات المستشعر AVHRR درجة وضوح مكاني عامة Coarse مقارنة بمستشعرات الرصد الخاصة بالأرض والتي سنناقشها بالتفصيل بعد قليل. وان كان استخدامه مقيد بشكل عام في رصد بيانات إقليمية أو ظاهرات صغيرة المقياس، مثل رسم خرائط لدرجات الحرارة السطحية في البحار أو أحوال النبات الطبيعي وخصائص المحاصيل.

باقي أقمار الطقس

قامت الولايات المتحدة بتشغيل سلسلة من الأقمار دمسب DMSP (برنامج الأقمار المترولوجيه الدفاعية) وهى سلسلة من الأقمار مستخدمة في الرصد الجوي وهذه الأقمار تدور في مدار قريب من المحور القطبي يقوم من خلالها المستشعر المعروف باسم نظام المسح الخطي Operational Linescan System (OLS) بتقديم تغطية مرتين يوميا لمناطق تبلغ رقعتها التصويرية 3000 كم وبدرجة وضوح مكاني مقدارها 2.7 كم.وفي هذا المستشعر قناتان ذاتا اطوال موجية عريضة هي القناة المرئية وتحت الحمراء القريبة (من 0.4 إلى 1.1 ميكرومتر) وقناة تحت الحمراء حرارية (10.00 إلى 13.4 ميكرومتر). ومن مميزات هذا المستشعر قدرته على تسجيل بيانات القناة المرئية في مرئية ليلية حين تكون ظروف الإضاءة الأرضية ضعيفة للغاية. ومع هذا المستشعر من الممكن جمع مرئيات مؤثرة عن حالة المناطق العمرانية المضيئة ليلا. وهناك أيضا عديد من أقمار الطقس أطلقتها دول أخرى في مقدمتها اليابان بسلسلة أقمار جمس GMS وأقمار الاتحاد الأوربي المعروفة باسم ميتيوسات Meteosat. وكلاهما أقمار ثابتة Geostationary مثبتة فوق خط الاستواء لتطل على اليابان وأوربا. وكلاهما يقدم تصوير كل نصف ساعة على نسق أقمار جويس.

ولقمر جمس قناتان : من 0.5 – 0.75 ميكرومتر (وبدرجة وضوح مكاني 1.25 كم) و 10.5 و 12.5 ميكرومتر (وبدرجة وضوح مكاني 5 كم).

أما ميتيوسات فله ثلاث قنوات، قناة في الاستشعار المرئي من 0.4 – 1.1 ميكرومتر (وبدرجة وضوح مكاني2.5 كم) وقناة تحت الحمراء وسيطة (من 5.7 إلى 7.1 ميكرومتر (وبدرجة وضوح مكانى مقدارها 5كم). وقناة تحت الحمراء حرارية (ما بين 10.5 إلى 12.5) (وبدرجة وضوح مكاني 5كم).



مستشعرات/ أقمار الرصد الأرضي Land Observation

– لاندسات Landsat



على الرغم من ان عديدا من أنظمة أقمار الطقس تستخدم في رصد بعض ظاهرات سطح الأرض، إلا أنها ليست مثالية لرسم خرائط تفصيلية لسطح الأرض. وقد أطلقت ناسا أول قمر للرصد الأرضي والمعروف باسم لاندسات-1 Landsat-1 فى عام 1972. وكان يعرف في الأصل باسم إرتس-1 ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) وقد صمم لاندسات كتجربة لاختيار مدى نجاح تجميع ملاحظات متعددة الأطياف عن الأرض. ومنذ ذلك الوقت تمكن هذا البرنامج الناجح من تجميع قدر كبير من البيانات حول العالم من أقمار أرضيه عديدة. وفى البداية كانت ناسا تدير برنامج لاندسات ومسئولة عنه قبل أن تنتقل المسؤولية إلى نووا NOAA فى عام 1983. وفى عام 1985 اصبح البرنامج ذا أغراض تجارية وقدم بيانات للاستخدامات المدنية.

ويعود نجاح لاندسات إلى عوامل عده في مقدمتها : الجمع بين مستشعرات ذات قنوات طيفية مخصصه لرصد الظاهرات الأرضية، فضلا عن درجات وضوح مكانيه جيدة وتغطيه مساحية مناسبة (سواء على مستوى اتساع الرقعة المغطاة بالتصوير Swath أو فتره تكرار الزيارة والتصوير). ونظرا للعمر الطويل لبرنامج لاندسات فقد تراكمت كميات كبيرة من البيانات الأرشيفية عن سطح الأرض مما يساعد على رصد طويل المدى وتسجيل تاريخي وإمكانيات البحث في تلك البيانات. وقد ثبتت أقمار لاندسات فى موضع قريب من المحور القطبى وفى مدارات مع الشمس Sun-Synchronous وقد كانت الأقمار الثلاثية الأولى من لاندسات Landsat 1-3 على ارتفاع نحو 900 كم وكانت فترة تكرار الزيارة أو الفارق الزمني للتصوير Revisiting 18 يوم بينما صارت الأقمار التالية على ارتفاع 700كم وأصبح الفارق الزمني للتصوير 16 يوما. وكل أقمار لاندسات تعبر خط الاستواء فى الصباح لتستفيد من وقت الإضاءة المثالي.

وكانت هناك أنواع متعددة من المستشعرات التي استخدمتها أقمار لاندسات أهما أنظمة كاميرا (RBV) Return Beam Vidicon وأنظمة الماسح الطيفى المتعدد MSS وراسم خرائط التوزيعات Thematic Mapper TM. وقد كانت الأداة الأكثر استخداما فى الفترات الأولى من عمر لاندسات هى الماسح الطيفى المتعدد، ثم فيما بعد TM. وكل من هذه المستشعرات تجمع البيانات لرقعة من الأرض يبلغ اتساعها 185 كم بحيث تعرف مساحة المرئية ككل 185كم X 185كم.

ويقوم MSS باستشعار الإشعاع الكهرومغناطيسي من سطح الأرض في أربعة قنوات طيفية. ولكل قناة درجة وضوح مكاني مقدارها بالتقريب 60 X80 م وذات درجة وضوح راديومترى مقدارها 6 بت أو 64 بت قيمة رقمية. وتتم عملية الاستشعار هنا عن طريق مسح خطى Line scanning تستخدم مرآة متحركة Oscillating Mirror. وتقوم 6 خطوط مسحية

بتجميع البيانات فى وقت متزامن مع تحرك للمرآة من الغرب للشرق. ويوضح الجدول التالى خصائص المدى الموجى للماسح الطيفى المتعدد MSS

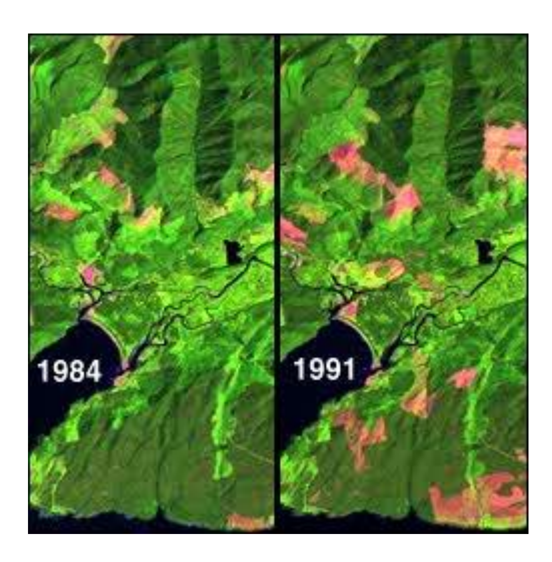
MSS Bands		
Channel		**Wavelength Range (µm)**
Landsat 1,2,3	**Landsat 4,5**	
MSS 4	MSS 1	0.5 - 0.6 (green)
MSS 5	MSS 2	0.6 - 0.7 (red)
MSS 6	MSS 3	0.7 - 0.8 (near infrared)
MSS 7	MSS 4	0.8 - 1.1 (near infrared)

وقد توقف عمل MSS فى عام 1992، نظرا لان استخدام بيانات TM – والتى بدأت مع لاندسات 4– قد تفوقت على MSS. ويقدم TM تحسينات تتقدم على مستشعر MSS أهمها فى درجة الوضوح المكانية والراديومترية العالية ، ودرجة دقة عالية فى القنوات الطيفية مقارنه بمستشعر MSS إذ لدينا هنا سبع قنوات بدلا من أربع. بالإضافة إلى ذلك لدينا فى مستشعر TM فى عدد المتتبعات Detectors . ولكل قناة (16 متتبع للقنوات غير الحرارية مقابل 6 فقط فى MSS). ولدينا فى مستشعر TM 16 خط مسح تجمع البيانات فى وقت متزامن لكل قناة غير حرارية Non-Thermal (وأربع خطوط للقناه الحرارية) باستخدام مرآة متحركة تقدم بالمسح خلال تحركها إلى الأمام (من الغرب للشرق) والعكس (من الشرق للغرب). ويزداد الفرق بين MSS و TM فى عنصر زمن البقاء Dwell Time، وفى تحسن درجة التكامل الهندسى والراديومترى للبيانات. ودرجة الوضوح المكانى لمستشعر TM هى 30 م لكل القنوات الموجية باستثناء القناة الحرارية التى لها درجة وضوح مقدارها 120م. ويتم تسجيل كل القنوات فى نطاق من القيم الرقمية تبلغ 256 (نظام 8 بت).

ويعرض الجدول التالي درجة الوضوح الطيفي لكل قناة على حدة مع الإشارة لبعض التطبيقات المستخدمة لكل منهما.

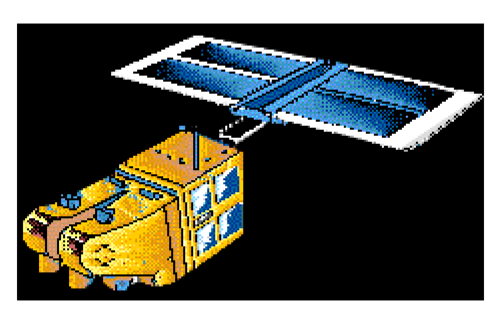
TM Bands		
Channel	**Wavelength Range (µm)**	**Application**
TM 1	0.45 - 0.52 (blue)	soil/vegetation discrimination; bathymetry/coastal mapping; cultural/urban feature identification

TM 2	0.52 - 0.60 (green)	green vegetation mapping (measures reflectance peak); cultural/urban feature identification
TM 3	0.63 - 0.69 (red)	vegetated vs. non-vegetated and plant species discrimination (plant chlorophyll absorption); cultural/urban feature identification
TM 4	0.76 - 0.90 (near IR)	identification of plant/vegetation types, health, and biomass content; water body delineation; soil moisture
TM 5	1.55 - 1.75 (short wave IR)	sensitive to moisture in soil and vegetation; discriminating snow and cloud-covered areas
TM 6	10.4 - 12.5 (thermal IR)	vegetation stress and soil moisture discrimination related to thermal radiation; thermal mapping (urban, water)
TM 7	2.08 - 2.35 (short wave IR)	discrimination of mineral and rock types; sensitive to vegetation moisture content



وتستخدم البيانات المجمعة من قبل مستشعرى MSS و TM علـى نظـام واسـع بمـا فـى ذلـك إدارة الموارد وإنتاج الخرائط والرصد البيئى ومتابعة التغير Change Detection) وبصفة خاصة فى رصد إزالة الغابات) ويحتوى أرشيف المرئيات الكندية على اكثر من 350.000مرئيه من MSS واكثر من 200.000 مرئية TM وتديرها الشركة المالكة لحق التوزيع فى كندا وهى شركة .RSI Inc وهناك العديد من المرئيات لدى هيئات أجنبية مختلفة حول العالم.

سبوت SPOT



سبوت SPOT هى اختصار لـ System Pour L'observation de la Terre وهو سلسلة من الأقمار التى تصور الأرض قد أطلقها مركز (Centre (CNES National d'Etudes فى فرنسا بدعم من السويد وبليجكا. وقد أطلق سبوت -1 فى عام 1986 وتبعته أجيال متتابعة كل 3-4 سنوات وكافة الأقمار هى من نوع Sun-Synchronous، وذات محاور قريبة من القطبية near-Polar Orbits عند ارتفاع يبلغ 830كم. وهو ما يؤدى إلى تكرار المدار كل 26 يوم. ووقت عبورها خط الاستواء يكون حوالى الساعة 10.30 صباحا حسب التوقيت الشمسى المحلى AM Local Solar Time. وقد صمم سبوت ليكون مزود تجارى لبيانات سطح الأرض، وقد كان القمر الأول الذي استخدم طريقة المسح على طول المدار Alomg-Track، المعروف باسم تقنية Pushbroom.

ولدى قمرى سبوت زوجان من أنظمة التصوير المرئية عالية الجودة High Resolution Visible (HRV) والتى يمكن أن تعمل بشكل مستقل ومتزامن. ولكل نظام تصوير مرئى ع إلى الجودة (HRV) القدرة على الاستشعار الأحادي ع إلى الجودة المكانية Panchromatic Single-Channel (PLA) أو درجة وضوح مكانية عامه Coarse متعدد الأطياف لثلاث قنوات (MLA) Multi Spectral وكلاهما يقوم بالمسح على طول المدار Along-Track بمستشعر HRVيتألف من أربع أنسقة خطية من المتتبعات. والمتتبع الخاص فى الاستشعار الأحادي PLA يتألف من نسق من 6000 عنصر وبدرجة وضوح مكاني مقدارها10 م. و المتتبع المتعدد MLAيتألف من نسق من 3000 عنصر لكل قناة من القنوات الثلاث وبدرجة وضوح مكانى مقدارها 20 م.

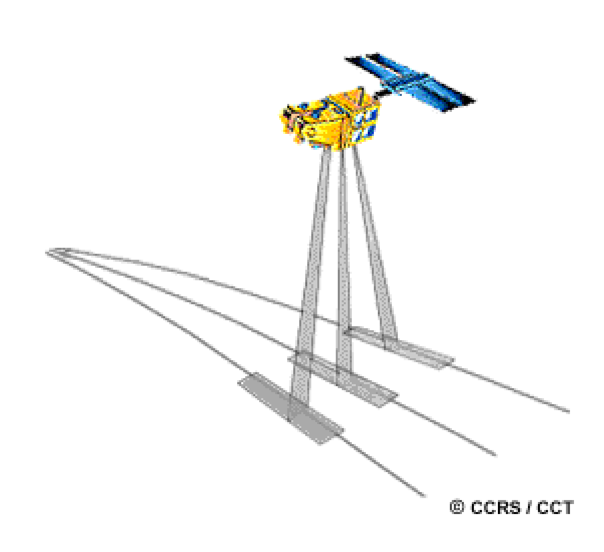
واتساع رقعة التصوير لكلا النمطين يبلغ 60كم عند نقطة النادير Nadir. ويوضح الجدول التالي الخصائص الطيفية لكلا النمطين

جدول ( ) المدى الطيفي لمستشعر سبوت

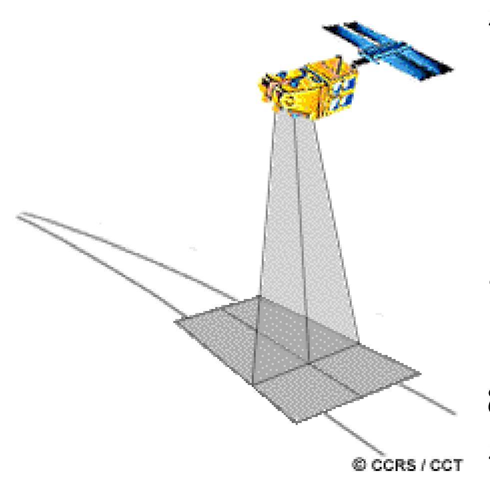
النمط/القناة	المدى الموجى (ميكرومتر)
PLA	
MLA	0.51-0.73(ازرق -اخضر -احمر)
القناة ١	0.50-0.59 (اخضر)

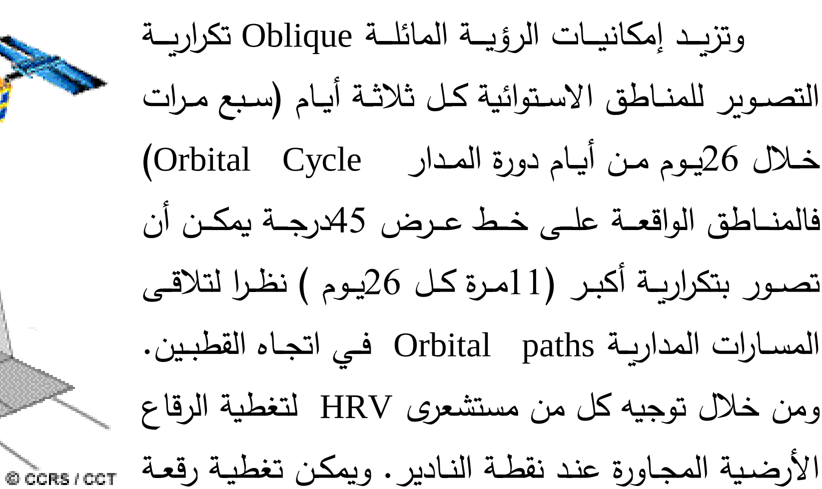


القناة 2	(0.78-61 0احمر)
القناة 3	0.89-0.79 (قريبة من تحت الحمراء)



ويمكن تعديل زاوية الرؤية للمستشعرات بحيث تنظر إلى المسار (النادير Nadir) الرأسي للقمر، بما يسمح برؤية خارج إطار النادير Off-Nadir Viewing بحيث تزيد من قدرة القمر على تكرارية تصوير المنطقة. وتسمح في ذات الوقت بتوسيع الرؤية بزاوية مقدارها 27° وهو ما يسمح لسبوت بأن يرى داخل نطاق من رقعة تصويرية مقدارها 950كم. ويسمح ذلك أيضا لسبوت لأن يزور أي موقع عدة مرات خلال الأسبوع. ومع ابتعاد المستشعر عن النادير فان رقعة التصوير ستختلف في اتساعها من 60 إلى 80كم ولا يحسن هذا من القدرة على رصد مواقع بعينها ويزيد من فرص الحصول على مرئيات خالية من السحب فحسب بل تقدم الرؤية غير المحكومة بالنادير Off-Nadir Viewing القدرة أيضا على التقاط صور ذات تغطية استريوسكوبية (تتيح الرؤية المجسمة). ومن خلال تسجيل بيانات نفس المنطقة من زاويتين مختلفتين يمكن للمرئية ان تُرى وتُحلل كنموذج ثلاثي البعد، وهو أسلوب له فائدة عالية للغاية في تحليل التضاريس وإنشاء الخرائط والمحاكاة التضاريسية البصرية Visual Terrain Simulation.





وتزيد إمكانيات الرؤية المائلة Oblique تكرارية التصوير للمناطق الاستوائية كل ثلاثة أيام (سبع مرات خلال 26يوم من أيام دورة المدار (Orbital Cycle فالمناطق الواقعة على خط عرض 45درجة يمكن أن تصور بتكرارية أكبر (11مرة كل 26يوم) نظرا لتلاقي المسارات المدارية Orbital paths في اتجاه القطبين. ومن خلال توجيه كل من مستشعرى HRV لتغطية الرقاع الأرضية المجاورة عند نقطة النادير. ويمكن تغطية رقعة

تبلغ 117كم (3كم متداخلة بين الرقعتين). وفى طريقة العمل هذه فان كلا من بيانات البانكروماتيك والبيانات المتعددة الأطياف يمكن جمعها ولكن ليس في وقت متزامن.

ولقمر سبوت منافع متعددة تتفوق بها على المستشعرات البصرية الفضائية optical Sensors وتعد درجة وضوحها المكانية العالية ومستشعراتها القابلة للتحرك والتوجيه بمثابة الأسباب الأساسية لشهرتها. والبيانات متعددة الأطياف ذات القنوات الثلاث مجهزة جيدا للعرض كمرئية زائفة الألوان، والقناة البانكروماتيك يمكن أيضا أن تستخدم في تقوية وضوح Sharpen التفاصيل المكانية في البيانات المتعددة الأطياف.

وتسمح سبوت بتطبيقات متعددة من تلك التي تتطلب درجة وضوح مكاني عالي (مثل إنشاء خرائط المدن) وتتعدد التطبيقات التى تستخدم فيها بيانات سبوت خاصة تلك التي تحتاج إلى رصد متكرر (الزراعة والغابات) وتفيد مرئيات سبوت في التطبيقات التى تحتاج إلى الحصول على معلومات طبوغرافية (خاصة لعمل نماذج الارتفاعات الرقمية Digital elevation Model).

الأقمار الهندية IRS

تجمع سلسلة الأقمار الهندية The Indian Remote Sensing (IRS) سمات من كل من قمر لاندسات MSS/TM وسبوت SPOT. وقد أطلق القمر الثالث من سلسة الأقمار الهندية والمعروف باسم IRS-IC م فى ديسمبر 1995 وله ثلاث مستشعرات : كاميرا عالية الجودة للقناة البانكروماتيك PAN، ومستشعر متوسط فى درجة الوضوح ذو نظام تصوير خطى لـ4 قنوات ويعرف باسم LISS-II اختصارا لـ Linear Imaging Self-Scanning Sensor ومستشعر ذو درجة وضوح قليلة Coarse من قناتين ويعرف باسم WIFS اختصارا لـ Wide Field Sensor. ويعرض الجدول التالي لسمات كل مستشعر.

Sensor	Wavelength Range (µm)	Spatial Resolution	Swath Width	Revisit Period (at equator)
PAN	0.5 - 0.75	5.8 m	70 km	24 days
Green	0.52 - 0.59	23 m	142 km	24 days
Red	0.62 - 0.68	23 m	142 km	24 days
Near IR	0.77 - 0.86	23 m	142 km	24 days
Shortwave IR	1.55 - 1.70	70 m	148 km	24 days
WiFS				
Red	0.62 - 0.68	188 m	774 km	5 days
Near IR	0.77 - 0.86	188 m	774 km	5 days

وبالإضافة إلى درجة الوضوح العالية ، فان المستشعر البانكروماتيك يمكن أن يوجه خارج نطاق التصوير العادي لنحو 26 من خلال تصوير عبر المدار Across- Track وهو ما يتيح تصوير ستريوسكوبى ويزيد من قدراتها على تكرار الزيارة (التصوير) (كل 4الى5ايام) على نحو ما يفعل سبوت. وهذه البيانات عالية الوضوح مفيدة فى التخطيط الحضرى وتطبيقات الخرائط. وتشبه القنوات الطيفية المتعددة للمستشعر LISS-III تشبه قنوات TM 1و4 وهي بالغة الإفادة فى التمييز بين البيانات وخرائط استخدام الأرض وتخطيط الموارد الطبيعية. وفضلا عن ذلك فان المستشعر WIFS شبيه بقنوات NOAA AVHRR، ودرجة الوضوح المكانى والتغطية مفيدة للمقياس الإقليمي لرصد النباتات.

ميس -2 وكاسى MEIS-II & CASI

من المفيد هنا الإشارة إلى زوجين من المستشعرات الكندية المحمولة على طائرات Airborne والمستخدمة في مختلف تطبيقات الاستشعار. الأول و المستشعر ميس -2 MEIS-II والمعروف اختصارا لـ Multispectral Electro-optical Imaging scanner أي الماسح المتعدد الأطياف الكهروبصري. والمصمم خصيصا لمركز كندا للاستشعار عن بعد. وعلى الرغم إنه لم يعد عاملا فان MEISكان أول الأنظمة العاملة المستخدمة لنظام Pushbroom أو لتقنية المسح عبر المدار على حامل مستشعر محمول جوا.

ويقوم المستشعر بتجميع بيانات 8بت (256قيمة رقمية) في قنوات طيفية ثمانية يتراوح طولها الموجى من 0.39 إلى 1.1ميكرومتر باستخدام 1728متتبع لكل باند. بما يسمح بالجمع بين مختلف القنوات لاستخدامها فى تطبيقات مختلفة. ومن الممكن الحصول على تصوير ستريو (مجسم) من خط طيران واحد، من خلال تصوير أمام وخلف النادير بحيث تدعم المستشعرات التي تصور فى مستوى النادير.

أما مستشعر كاسى CASI the Compact Airborne Spectro-Graphic Imagerفهو رائد فى مجال التصوير الجوى وكان أول سبيكتروميتر Spectrometer تجارى يقوم بالتصوير الجوى.، فهذا المستشعر فائق الأطياف Hyperspectral يتتبع نسقا واسعا Vast Array لقنوات طيفية ضيقة في الأطوال الموجية المرئية وتحت الحمراء باستخدام مسح عبر المدار Along-Track. ويغطى المدى الطيفى من خلال 288قناة تقع بين 0.4 إلى 0.9 ميكرومتر. وتغطى كل قناة مدى فى الطول الموجى مقداره 0.018ميكرومتر. أما درجة الوضوح الطيفى فتعتمد على ارتفاع الطائرة، والقنوات الطيفية المقاسة واتساع القنوات Band Widths بحيث تلبى حاجة المستخدم وتطبيقاته. فالمستشعرات فائقة الأطياف مثل كاسى يمكن أن تكون مصادر مفيدة للغاية لمعلومات تشخيصية Diagnostic بشأن خصائص الأهداف في الامتصاص والارتداد، بتأثير يقدم "بصمة" طيفية Spectral Finger-print.

مستشعرات / أقمار الرصد البحرى Marine Observation

تغطى محيطات وبحار الكرة الأرضية نحو ثلثى سطح الأرض وتلعب دورا هاما فى نظم المناخ العالمى. كما أنها تحتوى على كم وفير من الكائنات الحية والموارد الطبيعية المعرضة للتلوث وغيرها من الأخطار التي تسبب فيها الإنسان. ويمكن أن تستخدم أقمار الطقس والأرض (اليابس) التي عرضناها من قبل في دراسة المحيطات، لكن هناك أنظمة من الأقمار والمستشعرات المصممة خصيصا لهذا الغرض.

من هذه الأقمار قمر نيمباس-7 Nimbus-7 الذي أطلق في عام 1978 حاملا أول مستشعر والذي عرف باسم ماسح الألوان للنطاق الساحلي (Coastal Zone Colour Scanner CZCS) وخصصت لرصد محيطات الأرض والمسطحات المائية. وكان الهدف الأول لهذا المستشعر ملاحظة لون مياه المحيط ودرجة حرارته خاصة في النطاقات الساحلية، بدرجة وضوح طيفي ومكاني كافية لتتبع الملوثات فى المستويات العليا للمحيطات وتحديد طبيعة الموارد العالقة فى العمود المائى Water Column.

وقد ثبت قمر نيمباس Nimbus في مدار مع الشمس Sun-Synchronous وفى مدار قريب من القطبى Near-polar Orbit على ارتفاع 955كم. ويعبر خط الاستواء في منتصف النهار محليا Local Noon لمسارات الصعود ووقت منتصف الليل لمسارات الهبوط. وتسمح الدورة المتكررة للقمر بتغطية للأرض كل 6أيام مع كل 83مدار. ويتألف مستشعر CZCS من 6قنوات طيفية في النطاقات المرئية والقريبة من تحت الحمراء والحرارية، ويجمع كل من هذه القنوات بيانات عند درجة وضوح مكاني قيمتها 825متر عند نقطة النادير وعلى مدار رقعة تصوير اتساعها 1566كم. ويعرض الجدول التالى المدى الطيفى لكل قناة والمعيار الأساسي للقياس في كل منها.

CZCS Spectral Bands

Channel	Wavelength Range (µm)	Primary Measured Parameter
1	0.43 - 0.45	Chlorophyll absorption
2	0.51 - 0.53	Chlorophyll absorption
3	0.54 - 0.56	Gelbstoffe (yellow substance)
4	0.66 - 0.68	Chlorophyll concentration
5	0.70 - 0.80	Surface vegetation
6	10.5 - 12.50	Surface temperature

وكما هو موضح فى الجدول فان القنوات الأربع الأولى من مستشعر CZCS ضيقة للغاية. وهى مثالية بالتالي للفصل التفصيلي في درجة ارتداد الأشعة من الماء تبعا لدرجة تركز

الفوتوبلانكتون Phytoplankton. وغيره من المواد العالقة في الماء. وبالإضافة إلى تتبع البيانات السطحية على المياه فان القناة رقم 5 تستخدم لفصل المياه عن اليابس قبل إجراء معالجة للقنوات الأخرى. وقد توقف مستشعر CZCS عن العمل في 1986.

قمر موس MOS

أطلقت اليابان أول قمر للملاحظة البحرية Marine Observation Satellite في فبراير 1987 وتبعه موس 1–ب MOS-1b في فبراير 1990. وحمل هذان القمران ثلاث مستشعرات مختلفة هي :

- الراديومتير الماسح الذاتي الإليكتروني متعدد الأطياف ذو القنوات الأربعة Four-Channel Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer (MESSR)

–الراديوميتر ذو الأربع قنوات العامل في النطاق المرئي وتحت الحمراء الحرارية Visible and Thermal Infrared Radiometer (VTIR)

–الراديوميتر ذو القناتين لمسح الموجات الميكرويفية Microwave Scanning Radiometer (MSR)

وفيما يلي خصائص المستشعرين العاملين في النطاق المرئى /تحت الحمراء.

أدوات قمر MOS في النطاقين المرئي /تحت الحمراء

Sensor	Wavelength Ranges (µm)	Spatial Resolution	Swath Width
MESSR	0.51 - 0.59	50 m	100 km
	0.61 - 0.69	50 m	100 km
	0.72 - 0.80	50 m	100 km
	0.80 - 1.10	50 m	100 km
VTIR	0.50 - 0.70	900 m	1500 km
	6.0 - 7.0	2700 m	1500 km
	10.5 - 11.5	2700 m	1500 km
	11.5 - 12.5	2700 m	1500 km

والقنوات فى مستشعر MESSR شبيه للغاية فى المدى الطيفى لمستشعر لاند سات MSS وبالتالى مفيدة فى تطبيقات دراسة اليابس إضافة إلى فوائدها فى دراسة البيئات البحرية. وتقع أنظمة موس MOS على ارتفاع 900كم وتعود لزيارة المنطقة كل 17يوم.

سى ويفس Sea WIFS

يحمل القمر الصناعي سي ستار Sea Star مستشعر "الرؤية واسعة المجال للرصد البحرى" Sea-Viewing Wide-Field-of-View Sensor (WIFS). وهو مستشعر متقدم للرصد البحري، ويتكون من ثمان قنوات طيفية ذات مدى ضيق للغاية من الأطوال الموجية (راجع الجدول التالي). وهو مخصص لتتبع خاص جدا لرصد مختلف الظاهرات المحيطة مثل عمليات الإنتاج الأساسي فى المحيط من الفوتوبلانكتون، والتأثيرات المحيطة على

العمليات المناخية (مثل التخزين الحراري وتكون الإيروسول Aerosol) ورصد دورات الكربون والكبريت والنيتروجين. ويقع المدار على ارتفاع 750كم ، مع وقت عبور محلى للساعة 12 بعد الظهر . وبه نوعان من درجة الوضوح المكاني واتساع رقعة لكل قناة:

–نمط ذو درجة وضوح مكاني ع إلى يبلغ 1.1 كم (عند النادير) فوق رقعة يبلغ عرضها 2800كم.

–نمط ذو درجة وضوح مكاني منخفض يبلغ 4.5كم (فوق النادير) وفوق رقعة يبلغ عرضها 1500كم.

القنوات الطيفية لسى ويفس Sea WIFS

Channel	Wavelength Ranges (µm)
1	0.402 - 0.422
2	0.433 - 0.453
3	0.480 - 0.500
4	0.500 - 0.520
5	0.545 - 0.565
6	0.660 - 0.680
7	0.745 - 0.785
8	0.845 - 0.885

وهذه الأنظمة من الأقمار الصناعية – الراصدة للمحيطات Ocean-Observing على المستويين الإقليمي والعالمي لرصد الحياة البحرية ومشكلات التلوث كما أنها تساعد في فهم تأثير المحيطات على النظام المناخي العالمي.

الفصل الثالث: تفسير وتحليل المرئيات الفضائية

يستوجب علينا من اجل الاستفادة بميزات الاستشعار عن بعد أن نمتلك القدرة على استخراج المعلومات ذات الدلالة من المرئيات الفضائية. وهو ما ينقلنا الآن إلى موضوع التفسير والتحليل (العنصر السادس في العناصر السبعة للاستشعار عن بعد) .

تتضمن عملية تفسير وتحليل المرئية الفضائية تحديد وقياس الأهداف المختلفة المراد دراستها على المرئية بهدف الوصول إلى معلومات ذات دلالة بشان هذه الأهداف المدروسة. وعادة ما تكون هذه الأهداف واحدة من الأنواع التالية:

- النقطة Point، الخط Line، المساحةArea. وهو ما يعني أن الأهداف المدروسة يمكن أن تتخذ أي شكل من الأشكال وتتدرج حسب درجة وضوح الصورة من حافلة نقل ركاب إلى جسر عبر نهر إلى مساحة من المياه او حقل زراعي
- يجب أن تكن الأهداف المدروسة مميزة من حيث الشكل ويجب أن تتميز عما يحيط بها من أهداف أخرى في المرئية

وعادة ما تتم أغلب عمليات التفسير والتحليل في الاستشعار عن بعد بشكل يدوي او تحليل بصري مباشر من قبل المستخدم. وفي معظم الحالات يتم ذلك من خلال عرض المرئية في حالتها التصويرية (صورة pictorial or photograph-type format وليست قيما رقمية Digital Format) ونشير في هذه الحالة إلى أننا نتعامل مع المرئية في حالتها التناظرية Analog Format.

وحين تتاح للمستخدم بيانات الاستشعار عن بعد في صورتها الرقمية ينتقل المستخدم إذا إلى مرحلة المعالجة والتحليل الرقمي digital processing and analysis بالاستعانة ببرامج حاسوبية (مثل برنامج Erdas Imagine). ويمكن أن تتم عمليات المعالجة الرقمية لتحسين عرض بيانات المرئية كخطوة استهلالية لعمليات التفسير البصري visual interpretation. ويمكن أن تتم عمليات المعالجة والتحليل الرقمي لتعيين وتحديد الظاهرات بشكل آلي automatic واستخراج المعلومات بشكل كامل ونهائي دون الحاجة إلى مرحلة

التفسير البصري. وان كان من النادر حدوث ذلك ن غذ أن المفيد دوما هو الجمع بين الطريقتين (التفسير البصري والمعالجة الآلية).

تعود عمليات التفسير والتحليل غير الرقمي (البصري) إلى بدايات استخدام الاستشعار عن بعد وتفسير الصور الجوية. وفي المقابل فإن التفسير الآلي (الرقمي) للمرئيات الفضائية فحديث العمر نسبيا مرتبطا مع تطور الحواسيب الآلية. ولكل من الطريقتين مميزات وعيوب. وبصفة عاملة يمكن القول إن التفسير غير الرقمي (اليدوي أو البصري) لا يتطلب الكثير من التجهيزات الآلية في الوقت الذي يحتاج فيه التفسير والتحليل الآلي أجهزة حواسيب وبرامج متخصصة. ويقتصر التحليل اليدوي على قناة أو باند واحد من باندات المرئية الفضائية وذلك نظرا لصعوبة ان تقوم العين بالتفسير والتحليل على أكثر من قناة طيفية. وفي المقابل تمنح أجهزة الكومبيوتر قدرة اكبر للتعامل مع مرئيات معقدة البيانات وذات قنوات طيفية متعددة وبالتالي فهو يفيد في إنجاز العمل بشكل أسرع ويضم قدر معقد من البيانات التي يصعب إتمامها بالطريقة البصرية. كما يتسم التفسير البصري بالذاتية subjective) اختلاف التفسير من شخص لآخر) في الوقت الذي تتسم فيه عمليات التفسير الآلي بالموضوعية objective (عدم التحيز أو اختلاف الخبرة من شخص لآخر) . ومع هذا فمن الصعب تقرير درجة الدقة والثقة في النتائج المستخرجة من وسائل المعالجة الرقمية لأن إذ أن هذا يعتمد على عوامل متعددة، كما أنه من المهم التأكيد على أن الوسيلتين (البصرية والرقمية) لا تتنافسان كي تطرد واحدة منهما الأخرى، فكل منها تكمل الأخرى.

عناصر التفسير البصري Elements of Visual Interpretation

على نحو ما لاحظنا قبل قليل ، تتضمن عملية تحليل بيانات الاستشعار عن بعد تمييز مختلف الأهداف محل الدراسة على المرئية الفضائية، وقد تكون هذه الأهداف طبيعية أو من صنع الإنسان وتتألف جميعها إما من النقطة أو الخط أو المساحة. ويمكن التعبير عن الأشكال التي تحويها المرئية عبر معايير مختلفة أهمها: مقدار ما عكسته أو بعثته هذه الظاهرة من إشعاع تم تسجيله في المرئية عن طريق المستشعر.

والآن نتساءل ما الذي يجعل تفسير المرئية أصعب من تفسير ما تراه أعيننا فيما يحيط بنا كل يوم؟ هل هناك فرق؟ السبب الأول أننا نفقد القدرة على التمييز بشكل جيد حين ننظر إلى شيء بلا عمق وذلك حين ننظر إلى مرئية فضائية ذات بعدين فقط وليس بها البعد الثالث (التجسيم). وهناك حالات استثنائية تظهر فيها المرئية مجسمة حين نضيف إليها البعد الثالث (قيم الارتفاعات DEM) على نحو ما يقدم برنامج جوجل إيرث أو تقدم مرئيات سبوت الفرنسية.

وفي الحقيقة فإن التفسير يفيد في عديد من التطبيقات وذلك حين تكون المرئيات معروضة بشكل مجسم إذ أن هذا يسهل عملية التعرف على الظاهرات والأهداف. لكن رؤية الظاهرات والأهداف على المرئية بالنظر إليها وكأننا ننظر من قمر صناعي في شكل ثنائي البعد يعطي لنا إدراكا مختلفا عما تعودنا أن نراه من حولنا بشكل مجسم ومن منظور أفقي.

كما اعتادت أبصارنا إدراك الأشياء الواقعة في النطاق المرئي (الأزرق والأخضر والأحمر) ولم تألف رؤية أشياء في قنوات طيفية أخرى (مثل القناة الحرارية مثلا).

وعلى هذا فإن التعرف على الهدف أو الظاهرة على المرئية الفضائية هو المفتاح الأول في عملية التفسير واستخراج المعلومات. فتمييز الظاهرات والتفريق بينها وبين بعضها البعض يتضمن أن نستعين ببعض السمات المساعدة في ذلك وأهمها:

- اللون أو درجة السطوع Tone
- الشكل Shape
- الحجم Size
- النمط Pattern
- النسيج Texture
- الظلال Shadow
- الارتباط Association

ونلاحظ أننا نعتمد على نفس هذه العناصر في تمييز الأشياء من حولنا في حياتنا اليومية سواء انتبهنا لذلك أم لم ننتبه. وفي حياتنا اليومية نشاهد في التلفزيون تقارير للنشرات الجوية وعليها مواقع السحب والإشعاع الشمسي ونمارس مع المقدم شكلا أو آخر من أشكال التفسير والتحليل، وفي المشاهد التلفزيونية التي تتحرك فيها الكاميرا في طائرة مروحية (هيليكوبتر) وتنظر من خلال نافذة الطائرة إلى الارض بحثا عن شيء في وسط الصحراء أو غابة فإننا نبحث مع الكاميرا وكأننا نساعده في العثور على الشيء الذي يسعى للعثور عليه. وهذه أيضا من أشكال التفسير البصري للمرئيات الفضائية بشكل لا نلتفت إليه اعتمادا على السمات السابقة (اللون /الظل، الشكل ، الحجم..الخ).

درجة السطوع. Tone ، يقصد بها درجة السطوع النسبي للأجسام (درجات الدكانة أو السطوع) أو تشير إلى لون الظاهرات على المرئية (إذا كانت المرئية أو الصورة الجوية ملونة). وتعد درجة السطوع أو اللون عنصرا أساسيا في التمييز بين مختلف الأهداف والظاهرات على المرئيات الفضائية والصور الجوية. ويساعد هذا العنصر في تمييز بقية العناصر الأخرى مثل الشكل والنسيج ..الخ.

الشكل. Shape . ويقصد به المظهر والتركيب أو الحدود الخارجية Outline للمظاهر المفردة. وتعبر الأشكال ذات الحدود المستقيمة عن مظاهر عمرانية أو زراعية (كالحقول الزراعية مثلا) بينما حدود الظاهرات الطبيعية كالغابات تبدو في أشكال غير منتظمة وغير مستقيمة في شكلها ، باستثناء المناطق التي مد فيها الإنسان الطرق أو قطع فيها مساحات من الغابات. وتتخذ المزارع أو الأراضي الزراعية التي تروي بأنظمة الري الدائري شكلا دائريا كحلقات أو دوائر هندسية.

الحجم. Size، يختلف حجم الظاهرات باختلاف مقاييس الرسم. ومن المهم تقييم حجم الظاهرة محل الدراسة مقارنة ببقية الظاهرات في نفس المرئية، فضلا عن تحديد حجمها المطلق. وهو ما يعد ضروريا للغاية في تفسير الأشكال والأهداف على المرئية.

النمط. Pattern. يشير النمط إلى طريقة التنظيم المكاني للظاهرات. ويؤدى التكرار النموذجي لظاهرة لها نفس درجات السطوع ونفس النسيج إلى تمييز متكرر وتعرف نهائي على الظاهرة من قبل المستخدم . ومن أبرز الأمثلة على مفهوم النمط حقول البساتين من حيث المسافات المنتظمة التباعد بين الأشجار، وكذلك الشوارع وما بينها من كتل عمرانية منتظمة.

النسيج. Texture. ويشير إلى تنظيم وتكرارية التباين اللوني (أو درجة السطوع) في مناطق بعينها من المرئية. فالنسيج الخشن rough texture يتألف من درجات سطوع مزركشة (متنوعة السطوع) بينما النسيج الناعم smooth texture ليس له تباينات في السطوع . و عادة ما يرتبط النسيج الناعم بظاهرات متجانسة في الشكل ، مستوية في السطح، مثل الحقول الزراعية والأسفلت والحشائش. أما الأهداف ذات النسيج الخشن والأسطح غير المنتظمة مثل قمم الأشجار في الغابة ترتبط عادة بنسيج خشن. ويعتبر النسيج واحدا من أهم أساليب التمييز بين الأهداف في المرئيات الرادارية.

الظلال. Shadow. وتفيد في تفسير المرئية وتعطي في ذات الوقت فكرة عن الارتفاع النسبي للهدف محل الدراسة (مثال أهرامات الجيزة/ الأبراج والبنايات شاهقة الارتفاع). ولكن

على الجانب الآخر تعيق الظلال من التفسير والتحليل لأنها تغطي على مناطق وظاهرات أخرى مجاورة. ومع هذا فإن للظلال أهمية كبيرة في تحديد الطبوغرافيا والمظاهر الأرضية، وخاصة في المرئيات الرادرية.

الارتباط. Association. ويهتم بالعلاقة بين المظاهر التي تم تمييزها بالفعل بالنسبة لظاهرات أخرى لم يتمكن المرء بعد من تمييزها. إذ يسهم تمييز ظاهرة في توقع المرء وجود ظاهرة أخرى مرتبطة بها بما يسهل عملية التفسير. فالتعرف على الطرق سيؤدي التى توقع وجود مراكز عمرانية ، كما أن التعرف على مروحة فيضية سيؤدي إلى توقع وجود وادي جاف/ والتعرف على مدينة على الساحل سيؤدي إلى توقع وجود أرصفة موانئ وكورنيش للتنزه..الخ.

المعالجة الرقمية للمرئيات Digital Image Processing

في عالم اليوم الذي تنتشر فيه التقنية الرقمية يتم تخزين اغلب بيانات الاستشعار عن بعد في صيغة رقمية digital format وتصبح بالتالي قابلة للمعالجة الرقمية بشكل أو بآخر. تشمل عملية المعالجة الرقمية إجراءات عديدة أهمها:

-تهيئة وتصحيح البيانات الخام formatting and correcting of the data

-التحسين الرقمي digital enhancement للبيانات من اجل تفسير بصري أفضل

-التصنيف الآلي للبيانات automated classification .

ومن أجل أن تتم معالجة البيانات الاستشعارية رقميا يجب بداية :

-أن تخزن هذه البيانات في صورة رقمية على اسطوانة CD أو شريط مسجل من القمر الصناعي Tape أو أي وسيط آخر للتخزين الرقمي (فلاش ديسك مثلا).

-توفر برنامج كومبيوتر مصمم لمعالجة البيانات الاستشعارية الرقمية (مثل برنامج إيرداس إيماجين Erdas Imagine أو برنامج إي آر مابر ER Mapper أو برنامج إنفي).

خطوات المعالجة الرقمية :

1- المعالجة التحضيرية Preprocessing

2- تحسين المرئية Image Enhancement

3- تحويل المرئية Image Transformation

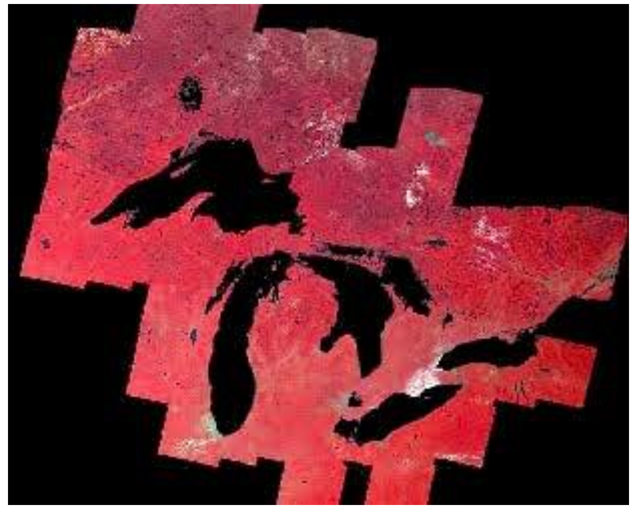
4- تصنيف المرئية وتحليلها Image Classification and Analysis

المعالجة التحضيرية **Pre-processing**

تشمل هذه المرحلة عددا من الوظائف أهمها : التصحيح الهندسي و الراديومتري radiometric & geometric corrections. ويضم التصحيح الراديومتري تصحيح البيانات بتخليصها من وجود تشوه في القيم الرقمية نتيجة وجود عدم انتظام من قبل المستشعر وتعرض المرئية لوجود ضوضاء في البيانات مصدرها عوامل جوية أو من قبل المستشعر وإعادة تصحيح المرئية بحيث تحتوي فقط على بيانات الانعكاس أو الانبعاث الصادرة عن الهدف محل الرصد. أما التصحيح الهندسي فيشمل تصحيح التشوه الهندسي في المرئية الناجم عن التباين بين شكل الأرض الصحيح وشكل المرئية التي سجلها المستشعر وإعطاء المرئية إحداثيات حقيقية للأرض (خطوط الطول ودوائر العرض).

تحسين المرئية **I**mage Enhancement

تهدف هذه المرحلة إلى تحسين عرض المرئية كي تساعد في تفسير وتحليل بصري أفضل. ومن أشهر أمثلة التحسين البصري تغيير درجة السطوع والتباين Contrast stretching واستخدام الفلاتر Filters.





تحويل المرئية **I**mage transformation

تحقق هذه المرحلة وظائف تشبه مرحلة التحسين السابقة وان كانت تختلف عنها في انه بينما يتم تطبيق عمليات التحسين في المرحلة السابقة على قناة او باند واحد فإن عمليات تحويل المرئية يتم بها تطبيق التحسين على أكثر من قناة طيفية مجتمعة (سواء بعمليات الطرح ، الإضافة ، المضاعفة، القسمة) وهو ما يؤدي إلى خلق مرئية جديدة من المرئية الأصلية بعد عملية التحول تعرض بشكل أفضل أو تركز على ظاهرات بعينها في المرئية

الجديدة. ومن أشهر عمليات التحول تطبيق معادلة تحليل العامل الرئيسي principal components analysis والتي تطبق بشكل فعال على المرئيات التي تحوي قنوات طيفية مختلفة.

تصنيف المرئية وتحليلها Image classification and analysis

عادة ما تتم عمليات التصنيف على مرئيات متنوعة القنوات الطيفية يتم من خلالها توزيع كل بيكسل في المرئية على فئة معينة من فئات التصنيف بناء على القيم الرقمية الإحصائية للبيكسلات. وهناك مناهج مختلفة تتبع في عمليات التصنيف ن وسوف نشير بايجاز إلى نوعين منها هما: التصنيف الموجه والتصنيف غير الموجه.

المعالجة التحضيرية Pre-processing

تعرف عمليات المعالجة التحضيرية في بعض الحالات باسم ضبط وتصحيح المرئية Image Restoration & Rectification وتختص بتصحيح بعض التشوه الذي أصاب المرئية بسبب عوامل نتج بعضها عن القمر الصناعي (المستشعر / حامل المستشعر) وبعضها الآخر عن عوامل جوية ،كما تشمل هذه المرحلة تصحيح التشوهات الهندسية التي أصابت المرئية.

وقد تكون عمليات التصحيح الراديومتري ضرورية نتيجة وجود تباين في بعض العناصر مثل: مقدار الإضاءة من الإشعاع الشمسي، هندسة الرؤية (هندسة التصوير) الظروف الجوية، والضوضاء التي استقبلها المستشعر وأثرت على البيانات. وتختلف كل هذه العناصر من مستشعر لآخر كما تختلف باختلاف الظروف الجوية التي يتم خلالها التقاط المرئية. وقد نلجأ إلى عمليات التصحيح الراديومتري والهندسي في حالة ما إذا كان من المرغوب فيه تحويل أو معايرة convert or calibrate البيانات إلى وحدات إشعاع انبعاث (مطلقة) بهدف تسهيل مقارنة البيانات.

فالتباين في هندسة الإضاءة والرؤية illumination and viewing geometry بين المرئيات (وذلك في حالة المستشعرات البصرية Optical Sensors) يمكن أن تصحح من خلال نمذجة العلاقة الهندسية والمسافة بين المنطقة التي يصورها القمر الصناعي للأرض وكل من الشمس والمستشعر. ومثل هذه البيانات ضرورية لمرحلة أخرى من المعالجة يتم فيها مقارنة

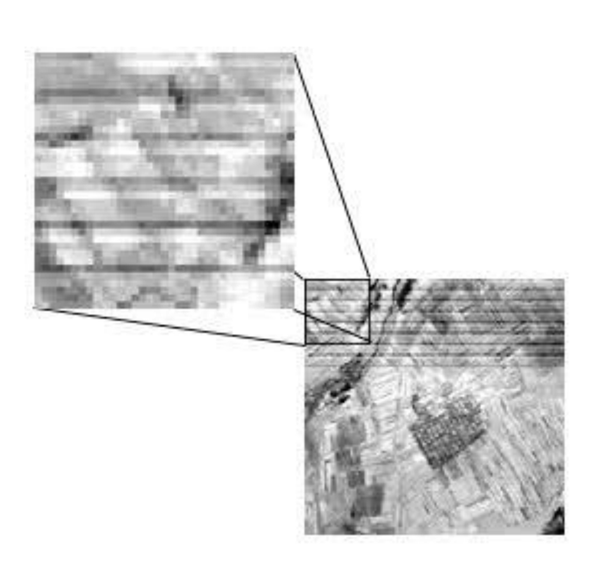
المرئية التي بها تشوه بمرئيات أخرى ملتقطة بمستشعرات مختلفة بتواريخ مختلفة او قد يستفاد بها لعمل موزايك لمرئيات مختلفة من مستشعر واحد تتشابه فيها ظروف الإضاءة الشمسية من مرئية لأخرى.

فعلى نحو ما درسنا ف الفصل الأول فإن قدرا من التشتت والإشعاع يمران خلال عملية اختراقهما الغلاف الجوي وتفاعلهما معه. ويمكن أن يؤدى هذا التشتت إلى التقليل من أو إضعاف للطاقة المنبعثة من سطح الأرض والمتجهة نحو المستشعر.

ومن اجل التغلب على هذا القصور فإن هناك عددا من وسائل التصحيح الجوي تتفاوت من مستوى معقد للنمذجة للبيانات الجوية خلال زمن الالتقاط إلى مستوى إحصائي بسيط يقوم فقط على ما هو متاح في المرئية من قيم رقمية للخلايا (قيم السطوع المتفاوتة بين 0 و 255 ، والمعروفة باسم brightness values) وذلك لمنطقة يغلب عليها الظلال أو منطقة معتمة في المرئية (مثل بحيرة واسعة رائقة المياه).

وفي الحالة الأخيرة نقوم بتحديد القيم الأقل minimum value في المنحنى التكراري للبحيرة. ويكون التصحيح من خلال عملية إسقاط القيمة الأقل Subtracting المسجلة (وتحدد هذه القيمة في كل قناة طيفية على حدة). وبما أن التشتت (الذي يحدث من قبل الغلاف الجوي ويؤثر على وصول قيم الانبعاث والانعكاس من الهدف المرصود) يعتمد على الطول الموجي فان القيمة الأدنى ستختلف من طول موجي لآخر.

وتقوم هذه الطريقة على افتراض أن الانعكاس من المظاهر والأهداف المرصودة (إذا كان الطقس صحوا) انعكاس محدود ان لم يكن صفرا (لان التشتت هيمن على القيم الرقمية فسجل قيما عالية). وإذا ما لاحظنا القيم الأكبر من الصفر ، فمن المتوقع حينها أن تكون هذه القيم ناتجة عن التشتت الصادر عن الغلاف الجوي وليس من الأهداف المرصودة.



ويمكن أن يكون التشوش (الضوضاء) Noise ناجم عن أخطاء تحدث في درجة استجابة المستشعر أو نتيجة خطا في عملية تسجيل القيم من المستشعر إلى جهاز التسجيل في



القمر الصناعي أو إلى خطأ أثناء عملية نقل البيانات من القمر الصناعي إلى المحطة الأرضية. ومن أشهر الأخطاء المنتمية إلى هذا النوع وجود خطوط مفقودة dropped lines أو أحزمة عرضية مشوهةstriping في المرئية . ومن الواجب تصحيح هذه الأخطاء قبل الشروع في عمليات التحسين أو التصنيف . وقد كانت الأحزمة العرضية شائعة في مرئيات MSS نتيجة عملية الإزاحة في المستشعر . وكان يتم التغلب عليها من خلال إجراء عملية إحصائية بسيطة يتم فيها إحلال القيم الرقمية في الصفوف الأعلى أو الأدنى من المنطقة المشوهة كقيم بديلة .

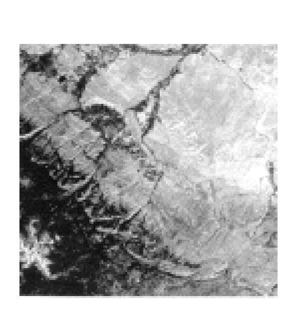
وقد عرفنا من قبل أن المرئيات تتعرض لنوزع أخر من التشوه هو التشوه الهندسي والذي ينجم عن عدة عوامل أهمها: المنظور الذي تتجه به عدسات بصريات نحو الأرض ، حركة المسح الإليكترونى للمستشعر، حركة حامل المستشعر، ارتفاع حامل المستشعر ، سرعة الحركة في القمر الصناعي ، نوع التضاريس التي يرصدها القمر استدارة الأرض، دوران الأرض حول نفسها وحول الشمس.

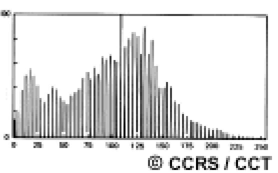
وتهدف عمليات التصحيح الهندسي إلى تعويض المرئية عن هذه التشوهات بحيث تصبح المرئية قريبة من شكل الأرض الفعلي. ومعظم هذه التشوهات متوقعة ومنتظمة الحدوث ن وبالتالي يمكن تغذية برامج تسجيل ومعالجة المرئيات الفضائية بنماذج للتصحيح الهندسي. وهناك نوع آخر من الأخطاء يعرف بالأخطاء غير المنتظمة او العشوائية unsystematic, or random, errors والتي لا يمكن تصحيحها بالنماذج الإحصائية الجاهزة. ومن ثم يلزم في هذه الحالة إجراء تصحيح (تسجيل) هندسي geometric registration للمرئية .

تتضمن عملية التصحيح الهندسي تحديد إحداثيات للمرئية (صفوف وأعمدة) لنقاط مميزة تسمى بنقاط التحكم الأرضي ground control points (or GCPs), تسجل على المرئية غير المصححة (راجع نقاط التحكم في الشكل المرفق والتي تحمل أسماء من A1 إلى A4). مع مضاهاتهم بإحداثيات صحيحة على سطح الأرض (خطوط الطول ودوائر العرض) في أربع نقاط على خريطة صحيحة الإحداثيات (النقاط B1 إلى B4 في الشكل المرفق) سواء كانت هذه الخريطة الصحيحة ورقية أو إليكترونية. وتعرف هذه الطريقة من التصحيح باسم تصحيح المرئية بناء على خريطة image-

registration to-map. وكلما كان عدد نقاط التحكم الأرضي كثيرة كلما كانت قدرة الكومبيوتر على تصحيح المرئية افضل وأكثر دقة. ويمكن أن تتم عملية التصحيح الهندسي بتصحيح مرئية غير مصححة بمعلومية مرئية مصححة وفي هذه الحالة لا تسمى عملية التصحيح تصحيح جغرافي (لسنا في حاجة هنا لإدخال أرقام تخص خطوط الطول ودوائر العرض). ويعرف هذا النوع من التصحيح باسم image-to-image registration .

تحسين المرئية Image Enhancement

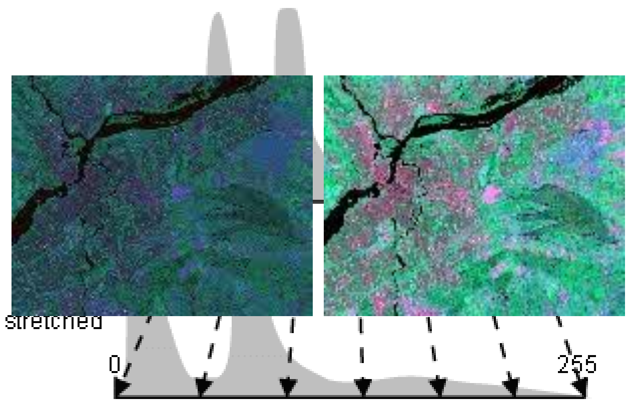




© CCRS / CCT

تستخدم عملية التحسين لتسهيل عملية التفسير البصري وفهم محتويات المرئية. وتسهم التقنية الرقمية في معالجة الخلايا الرقمية في المرئية بشكل ميسر. وعلى الرغم أن التصحيحات الراديومترية للتأثيرات التي تغير من الإشعاع الواصل للمستشعر أو التأثيرات الجوية يمكن أن تتم قبل توزيع المرئيات على المستخدمين (بيعها مثلا أو توفيرها للجهات البحثية) قد تحتفظ المرئية بقدر من التشوهات ، الأمر الذي يستوجب إجراء عدد من التحسينات لمعالجة ما تبقى من تشوه أو عدم وضوح في المرئية. ويجب التأكيد على التحسين الذي يجرى على هذه المرئيات يختلف باختلاف المنطقة المدروسة وباختلاف المظاهر التي يحتاج الباحث إلى تحسين رؤيتها ، فما يصلح من تحسين في الكثبان الرملية قد لا لتحسين رؤية افضل للغابات ..الخ.

ففي المرئية الخام (قبل التحسين) تشغل القيم المفيدة في التحليل جزءا محدودا من المدى الذي تتوزع فيه البيانات (من صفر إلى 255). وحين نقوم بعملية تحسين للتباين فإننا نغير من القيم الأصلية بحيث يتم استخدام الجزء الأكبر من القيم الرقمية (الجزء الأكبر من المنحنى التكراري) وهو ما سيؤدي إلى زيادة التباين. ولعل الخطوة المفتاحية في فهم عملية تحسين التباين تكمن في فهم المنحنى التكراري للبيانات image histogra . في هذا المنحنى تعرض قيمة السطوع (من صفر إلى 255) للبيكسلات على المحور الأفقي x-axis بينما تعرض تكرارية البيكسلات على المحور الرأسي.

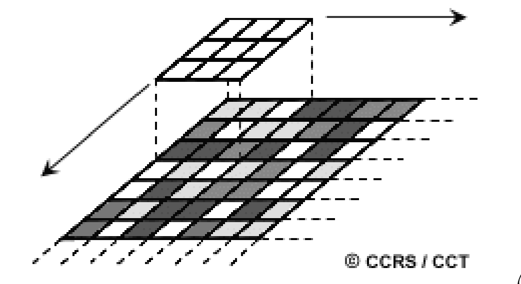


© CCRS / CCT

ومن خلال تعديل عرض المدى الذي تقع فيه القيم الرقمية في المنحنى التكراري يمكننا بالتالي الحصول على عدد من أشكال التحسين

للمرئيـة. وهنـاك العديد مـن تقنيـات ووسـائل التحسـين، وسـنعرض لبعضـها. ولعل أبسـط وسـائل التحسين هي اتباع طريقة الشد الخطي للتباين linear contrast stretch. وتتضمن هذه الطريقة تعيين الحدود العليا والدنيا للمنحنى التكراري (عادة ما يستخدم في ذلك ادنى وأعلى رقم في قيم المنحنى التكراري) ويتم اتباع طريقة الشد الخطي (راجع الشكل المرفق) بحت تصبح حدود المنحنى التكراري عند ادنى واعلى قيمة حقيقية (في الشكل المرفق تحل القيمة 84 محل القيمة صفر ، وتحل القيمة 153 محل القيمة 255). ونلاحظ هنا أن المدى بين القيم الحقيقية (84-153) لا يزيد عن 70 مستوى وهو ما لا يمثل أكثر من ثلث المنحنى التكراري الكلي (0-255) وبديهي أننا حين نركز التوزيع التكراري على الثلث فقط ستبدو التباينات في الألوان بشكل أفضل وستتضح المرئية بدرجة أكبر وسيزداد التباين.

ولكن في بعض الحالات قد لا يكون التوزيع المتجانس للمدى الذى تمثله البيانات على نحو ما شرحنا في الفقرة السابقة مفيدا في بعض الاستخدامات، خاصة إذا كانت البيانات غير موزعة توزيعا متجانسا. في هذه الحالة نلجأ إلى أسلوب معادل التوزيع التكراري histogram-equalized stretch. فهذا النوع من الشد stretch يخصص إظهار القيم في جزء معين من المنحنى التكراري. وفي هذه الطريقة ستكون التفاصيل في هذا القسم من المنحنى واضحة بدرجة أكبر مقارنة ببقية أجزاء المرئية. نفترض على سبيل المثال أن لدينا مرئية لمصب نهري في البحر وتشغل الأجزاء المائية من المرئية القيم الرقمية من 40 إلى 76 من بين كل النطاق المعروض في المنحنى التكراري يمكننا تركيز عرض المرئية على هذه النطاقات فقط (من خلال الأمر Raster/data scaling).



وهنـاك أيضـا فلاتـر التحسين المكـاني Spatial filtering . وتسـتخدم الفلاتـر للتركيـز highlight على ظاهرات او ملامح بعينها بناء على تحديد درجة تكراريتها المكانية spatial frequency. إذ ترتبط التكراريـة المكانيـة بمفهوم نسيج المرئيـة الذي ناقشناه من قبـل. وتشير

إلى تكرارية التباين في اللون ودرجة السطوع Tone التي تظهر في المرئية. فالمناطق ذات النسيج "الخشن Rough" حيث يكون التغير في درجة اللون او السطوع Tone حادا ومفاجئا في مناطق صغيرة (تباين لوني حاد ابيض إلى جوار أسود مثلا) تعتبر مناطق ذات تكرارية مكانية عالية. بينما المناطق ذات النسيج الناعم smooth ذات تباين محدود في درجات السطوع أو الألوان Tone فوق عدد من البيكسلات.

وتتضمن عملية الفلترة بشكل عام تحريك "نافذة" ذات عدد محدود من البيكسلات (3 x 3 بيكسل أو 5 x 5 بيكسل) لتمر فوق كل بيكسل في المرئية مطبقة عمليات رياضية باستخدام قيم البيكسل اسفل النافذة وتستبدل البيكسل الأوسط في النافذة بقيمة البيكسل الواقع تحت النافذة. وتمر النافذة عبر كل من الصفوف والأعمدة وتستمر عملية الحساب حتى انتهاء آخر بيكسل فتنتج مرئية جديدة في قيم البيكسل مختلفة عن المرئية الأصلية. ومن خلال تغيير عملية الحساب الرياضية التي تتم للمرئية وتغيير وزن كل بيكسل فردي في النافذة ، يمكن للفلاتر أن تؤدى وظائف متعددة في تحسين المرئية.

ومن أشهر أنواع الفلاتر: فلتر Low-Pass وهو يستخدم عادة مع ظاهرات متجانسة تشغل مساحة واسعة ذات درجات من الألوان والسطوع المتشابهة ، ويكون استخدام الفلتر هنا بهدف التخلص من التفاصيل الصغيرة التي تظهر بين الأجزاء المتجانسة الواسعة. ومن ثم فان هذا النوع من الفلاتر يؤدى وظائف "تعميم smoothing " للمرئية. في المقابل يستخدم فلتر High-pass لتحديد البيكسلات في المناطق الصغيرة ذات التفاصيل بشكل أقوي وإظهارها بشكل أكثر حدة Sharpen.

وهناك أنواع أخرى من الفلاتر تسمي فلاتر تتبع الحواف Edge-Detect وهي تستخدم مع الظاهرات الخطية كالطرق وخطوط الصدوع والفواصل والشقوق، وخطوط الكثبان الرملية.

تصنيف المرئية

هناك نوعان من التصنيف: الموجه وغير الموجه. وسنعرض في السطور التالية للتصنيف الموجه.

التصنيف الموجه Supervised classification

الأسس الرياضية:

تقوم الاستراتيجية الأساسية في التصنيف الموجه على انتخاب عينات من الألوان التي تتألف منها المرئية الفضائية باعتبارها تعبر عن مظاهر بعينها من أشكال سطح الأرض معروفة للمستخدم، والهدف من اختيار تلك العينات تحديد القيم الطيفية الممثلة لكل نوع من أنواع المظاهر الأرضية. وتسمى هذه العينات باسم خلايا التدريب *Training Fields* ، وتعرف القيم الطيفية الممثلة في هذه الخلايا باسم البصمات الطيفية *Spectral Signatures*.

وبمجرد أن يتم تعيين القيم الطيفية المنتخبة لكل مظهر من مظاهر السطح فان المرئية يمكن أن تصنف بأكملها (من خلال تعميم تلك العينات على باقي القيم الرقمية المشابهة). والذي يحدث أن كل خلية من خلايا المرئية توقع أو تصنف بناء على مدى تشابهها مع القيم الطيفية التي اختارها المستخدم لتميز شكلا من أشكال السطح.

وللتصنيف الموجه عديد من المزايا التي تجعله متفوقا على التصنيف غير الموجه. ففي التصنيف غير الموجه يختار المستخدم متغيرات ذاتية نوعا ما مثل عدد الفئات ومعادلة الحساب العنقودي. وعلى المستخدم حينئذ ان يقرر ما هو نوع الغطاء الأرضي الذي يناظر كل فئة لونية من الفئات التي أخرجها التصنيف . ومن عيوب التصنيف غير الموجه أن الفئة الواحدة قد تحتوي على فئات فرعية أغفلها التصنيف، وهو ما يمكن التغلب عليه في حالة التصنيف الموجه. ومع ذلك فهناك عيوب تجعل التصنيف الموجه أقل قيمة من التصنيف غير الموجه يأتي في مقدمتها أن المستخدم في التصنيف الموجه يجب عليه ان يكون على دراية بكل شكل من أشكال السطح (وإلا فانه سيعطي أشكال السطح التي لا يعرفها تصنيفا مضللا لا يصل حتى إلى مستوى التصنيف غير الموجه)

وهناك طريقتان للتصنيف الموجه :

الطريقة البصرية

تستند هذه الطريقة على معرفة المستخدم بصريا للأشكال الأرضية بعد المراجعة الميدانية وتحليل الخرائط والصور الجوية. وأهم أنواعها

- التر قيم الخرائطي Map Digitizing وتقوم هذه الطريقة على أساس أن الباحث حلل الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية (واستفاد من الرؤية المجسمة للاستريوسكوب) وحدد عليها أشكال السطح . ثم يقوم بنقل العينات عبر المرقم الإليكتروني Digitizer إلى الصورة الفضائية بعد ضبط الإحداثيات المشتركة بين الخريطة والصورة الجوية من ناحية والمرئية الفضائية من ناحية ثانية. ومن الأخطاء الشائعة في هذه الطريقة عدم تطابق الإحداثيات واختلال فئات التصنيف وتداخلها.
- التتبع الإحداثي على الشاشة . ويقوم فيها المستخدم بتتبع بصري للوحدات المورفولوجية التي يعرفها مسبقا (ويرسمها على شكل فئات دون الحاجة إلى إجراء عمليات رياضية

أو إحصائية . وتحتاج هذه الطريقة إلى خبرة فائقة من المستخدم ومعرفة ميدانية بكل التفاصيل ، وهو هدف بعيد لا يصل إليه إلا القليل من الباحثين. كما انه في الغالب ما تكون هناك بقع مبعثرة صغيرة المساحة لا تتمكن عين المستخدم من ملاحظتها بسهولة .وبالتالي فان هذا النوع من التصنيف البصري يحتاج مطلبين يصعب تحقيقهما لدى غالبية الباحثين وهما : الفراسة البارعة في التعرف على الفئات استنادا إلى الدراسة الميدانية ، والرصد الدقيق للتفاصيل الصغيرة على المرئية الفضائية).

الطريقة الإحصائية

نظرا للقصور الذي يكتنف الطريقة البصرية وبصفة خاصة عدم القدرة على تتبع التفاصيل ورداءة التصنيف الناتج عن العامل البصري دعت الحاجة الى تصميم طرق رياضية تقوم بحساب مدى انتماء كل خلية من الخلايا في المرئية لفئة من الفئات. ويكون دور المستخدم هو تعيين بعض العينات الصغيرة على المرئية كنقاط إرشاد للمعادلات الرياضية التي يستعين بها برنامج تصنيف المرئية. ويحسن تشبيه العلاقة التكاملية بين المستخدم والبرنامج الرياضي بمرحلتين يقوم المستخدم بـ "إلقاء" بذور الفئة المراد تصنيفها بينما يقوم البرنامج بتنمية وتكبير البذور فيتم تجميع عشرات ومئات الخلايا المشابهة في قيمها الرقمية مع الخلايا " البذرة" التي وضعها المستخدم في المرئية.

وهناك عدة طريق رياضية لتحقيق تلك الفكرة أشهرها :

- حساب المسافة الأقرب Minimum Distance Classifier. وهي طريقة تقوم فكرتها على توقيع القيم الرقمية للخلايا "البذور" التي حددها المستخدم على محور سيني وصادي. ثم توقع تاليا القيم الرقمية للخلايا على نفس المحور. والقيم التي تقترب من المتوسط الحسابي للخلايا (البذور) تنضم إليها . ويحدد مسبقا المدى الذي تضم على أساسه الخلايا إلى الفئات التصنيفية ، فإذا كان هذا المدى مثلا 5 فان كل خلية ستجد لنفسها مكانا في الفئات التصنيفية التي حددها المستخدم طالما كانت المسافة الأقصر بينها وبين المتوسط الحسابي أقل من أو تساوي 5 . ورغم سرعة وبساطة هذه الطريقة إلا أنها تنطوي على عيب أساسي وهي انها تقوم على حساب متوسط القيم الرقمية في كل خلية (متوسط القيم في كافة الأطياف الموجية ، 3 في مرئية سبوت ، و 7 في مرئية لاندسات) ومن ثم فان الأرقام المستخلصة من المتوسطات تعبر عن قيم "تعميمية" وتغفل التباين في القيم الرقمية للأطياف وهو ما يؤثر بالتالي على دقة التصنيف.
- تصنيف الخلايا في أطر جامعة Parallelepiped Classifier. تحاول هذه الطريقة التغلب على القصور في الطريقة السابقة بالاعتماد على حساب الفرق بين اعلى وادني



القيم في الخلية الواحدة . ويجمع الخلايا التى تنتمي الى فئة واحدة في اطار صندوقي واحد حدوده العليا هي القيمة الأعلى للخلايا وحدوده السفلى هي القيمة الدنيا للخلايا. وبالتالي فان نتيجة التصنيف تكون نتيجته اكثر دقة عن سابقه. لكن من عيوب هذه الطريقة حدوث تداخل overlap بين فئات الخلايا مما يؤدي إلى تصنيف بعض الخلايا تصنيفا خاطئا.

الاحتمال الأقرب Maximum Likelhood وتتغلب هذه الطريقة على خطأ تداخل البيانات وذلك من خلال توزيع الخلايا على المحور السيني والصادي بتصفيفها بطريقة تشبه خطوط الكنتور المغلقة، وإذا وقعت خلية من الخلايا خارج فئة من هذه الفئات الكنتورية يتم اختيار أقرب الفئات إليها فتضم إلى هذه الفئة.